

基于Optistruct动力电池箱盖一阶频率结构优化

□ 湖北美洋汽车工业有限公司 / 徐长成 胡鹏

基于Optistruct软件，重点讲解了基于动力电池箱盖一阶频率结构优化的过程，并对优化前后动力电池箱盖数据进行了对比。

动力电池箱盖是动力电池包的重要组成部分，其性能直接关系到动力电池包的安全。动力电池箱盖是动力电池系统最底层结构，作为动力电池模组与电气系统的直接载体，在动力电池、电气系统安全工作和防护方面起着至关重要的作用；动力电池箱主要包括上下箱体、模组（含固定件）、底盘连接件等，在满足诸多功能需求的同时，也要满足振动、机械冲击、跌落、挤压等性能要求，其中振动测试是箱体结构试验的最大难点。

结合某电动汽车动力电池包（见图1），本文首先分析了其动力电池箱盖（见图2）一阶约束

模态不满足台架试验要求（大于35Hz）；其次，基于形貌优化数学模型，详述了箱盖结构优化过程，并模型重构；最后，对优化前后模型进行了对比分析，并给出结论。

原电池箱盖分析

原箱盖采用0.8mm钣金一体冲压成型，材质为45#，质量7.244kg，使用Lanczos法计算一阶约束模态频

率为22Hz，如图3所示。原电池箱盖一阶频率22.11Hz，且振型为Z轴弯曲，在台架试验一阶共振主频35Hz范围之内，故该电池箱盖很大可能无法通过随机振动台架试验，因此需要对该电池箱盖结构进行结构优化以提高其一阶模态频率。

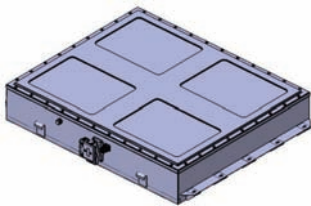


图1 某电动汽车动力电池包

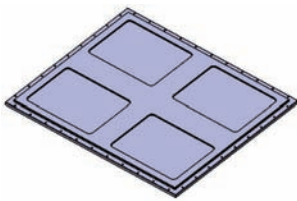


图2 某电动汽车动力电池箱盖

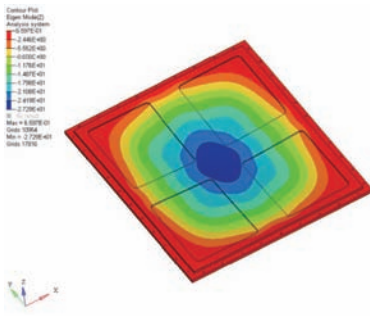


图3 原电池箱盖一阶振型（22Hz）

表1 原电池箱盖有效模态质量及模态振型

模态阶数	频率 (Hz)	方向有效质量						模态振型
		X-TRANS	Y-TRANS	Z-TRANS	X-ROTAT	Y-ROTAT	Z-ROTAT	
1	21.99	2.012E-15	2.125E-17	3.786E-03	3.161E-08	3.172E+03	1.593E-10	Z轴弯曲
2	35.65	2.022E-14	3.924E-07	5.165E-13	2.157E+02	1.082E-05	3.288E-01	Y轴弯曲
3	36.54	6.840E-07	5.230E-14	1.171E-15	1.104E-05	1.484E+02	4.598E-08	X轴弯曲

结构优化

现比较成熟的箱盖工艺有两种——折弯+拼焊和一体化冲压成型。结合公司现状，优先采用一体化冲压成型。具体方案是选用通用的Optistruct软件，对箱盖钣金形貌优化，寻找最优的加强筋形状和布局位置。

1. 形貌优化数学模型

形貌优化数学模型描述如下：

$$e_i = (e_1, e_2, e_3, \dots, e_N)^T$$

$$\text{Minimize } C = U^T K(e_i) U$$

$$\text{Subject to } 0 \leq e_i \leq D$$

式中：

e_i —单元节点在给定设计空间的位移，位移的方向可以是单元方向（负方向），也可以制定全局坐标方向；

C —结构的柔度；

U —载荷工况下单元节点的位移；

$K(e_i)$ —优化单元节点位移后的结构刚度；

D —给定的单元节点位移的上限值。

2. 箱盖形貌优化

结合电池箱盖功能要求，建立如图4所示的电池箱盖形貌优化模型，其中黄色区域为优化区域、边框灰色区域为非优化区域。

优化目标：结构柔度最小，约束模态一阶频率大于35Hz；

尺寸要求：法向起筋高度不大于6mm，起筋角度60°，筋最小宽度10mm。

优化采用线性分布肋、关于中心对称；

优化后结果如图5所示。

3. 优化后电池箱盖分析

根据电池箱盖优化后的形貌（见图5），利用三维软件重构电池箱盖优化后几何模型，如图6所示，对应一阶约束模态如图7所示。

优化后电池箱盖一阶频率41.03Hz，振型为Z轴弯曲，大于台架试验一阶频率35Hz要求。

4. 优化前后数据对比

由表3可知，优化后的上盖

一阶约束频率直接从22Hz提升到41Hz，满足了台架试验频率要求，箱盖整体质量、刚度并未发生太大变化。

结语

电池箱盖作为动力电池箱的重要组成部分，设计过程中应该充分考虑相关国家标准及试验要求，充分发挥CAE仿真分析优势，规避相关试验风险。

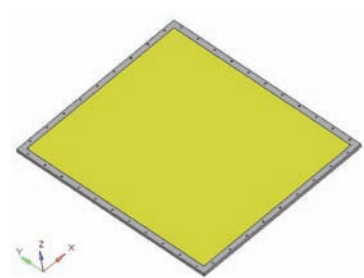


图4 电池箱盖形貌优化模型

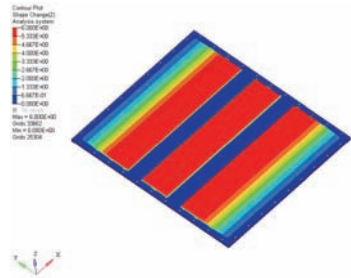


图5 电池箱盖优化后的形貌

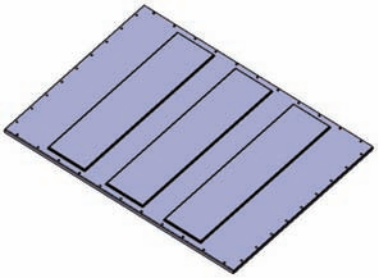


图6 优化后电池箱盖几何模型

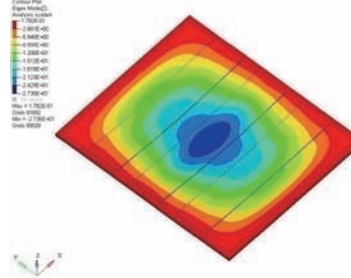


图7 优化后电池箱盖第1阶振型（41Hz）

表2 优化后电池箱盖有效模态质量及模态振型

模态阶数	频率 (Hz)	方向有效质量						模态振型
		X-TRANS	Y-TRANS	Z-TRANS	X-ROTAT	Y-ROTAT	Z-ROTAT	
1	41.03	2.539E-21	4.636E-19	4.245E-03	6.077E-09	3.557E+03	1.007E-10	Z轴弯曲
2	45.62	3.017E-13	2.195E-07	3.813E-14	3.274E+02	4.205E-05	1.839E-01	X轴弯曲
3	52.94	3.544E-20	1.088E-17	3.553E-04	1.149E-09	2.977E+02	1.072E-08	Z轴弯曲

表3 电池箱盖优化前后数据对比

名称	一阶频率 (Hz)	质量 (kg)	一阶Z向最大变形 (mm)
原电池箱盖	21.99	7.244	27.29
优化后电池箱盖	41.03	7.085	27.35
改变比例	提高86.6%	降低2.2%	增加0.2%

AUTO1950