

轻量化设计及数据挖掘

1) 近似模型的数值拟合

近似模型替代仿真模型求解,可提高优化效率。近似模型拟合精度关系着优化结果及其数据挖掘的准确性。径向基神经网络法(RBF)具有逼近复杂非线性函数能力佳和容错功能强等优点,对DOE样本有着良好拟合精度。本文以此法进行近似模型拟合,拟合精度的评价,通常采用复相关系数(R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_i'')^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - y')^2} \tag{5.1}$$

式中: N 为检验样本点数目; y_i 为第*i*个响应的仿真值; y_i'' 为第*i*个响应的近似模型预测值; y' 为仿真结果的平均值。 R^2 值越逼近1,表示模型拟合精度越高,工程中认为当 $R^2 > 0.9$ 时,精度满足要求。经计算得到关于电池仓质量、弯曲、扭转刚度、强度、随机载荷下振动疲劳损伤值、一阶模态频率的近似模型拟合精度决定系数 R^2 分别为0.988、0.975、0.965、0.937、0.959、0.983,其中疲劳损伤和一阶模态数值模型的拟合精度如图5.1所示。

误差分析结果表明,各目标响应的数值拟合精度均满足优化计算要求。

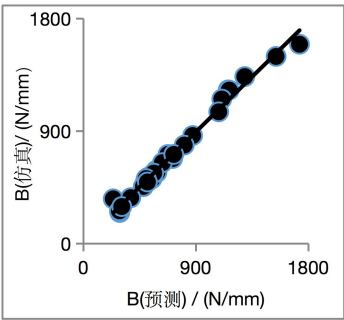


图 5.1.1 弯曲刚度

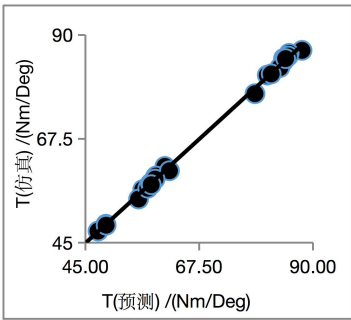


图 5.1.2 扭转刚度

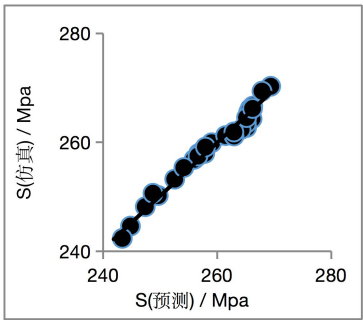


图 5.1.3 最大应力

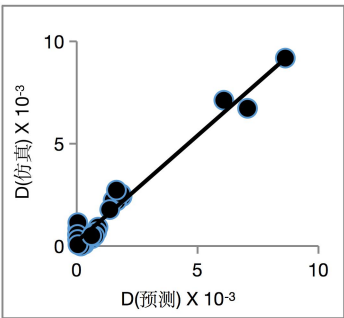


图 5.1.4 疲劳损伤

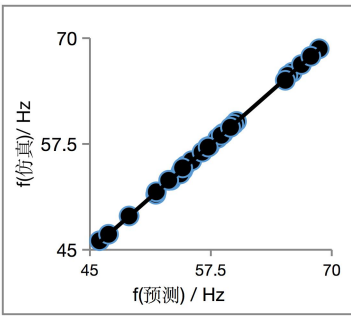


图 5.1.5 一阶模态

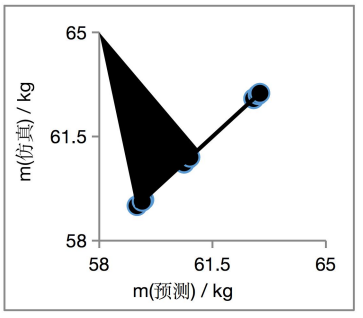


图 5.1.6 整体质量

图5.1 拟合模型型误差分析

2) 动力电池仓轻量化优化设计

电池仓轻量化设计优化数学模型如式(5.2)所示:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimize } M(x_i) \\ \text{Subject to } f_f(x_i) \leq f_{f0}(x_i), \\ \quad f_m(x_i) \geq f_{m0}(x_i), \\ \quad f_B(x_i) \geq f_{B0}(x_i), \\ \quad f_T(x_i) \geq f_{T0}(x_i), \\ \quad f_s(x_i) \leq f_{s0}(x_i) \\ x_i \in (x_{iD} \quad x_{iU}) \quad i=1,2,3,4 \end{array} \right. \quad (5.2)$$

式中: $M(x_i)$ 、 $f_f(x_i)$ 、 $f_m(x_i)$ 、 $f_B(x_i)$ 、 $f_T(x_i)$ 、 $f_s(x_i)$ 分别为电池仓的总质量、疲劳损伤值、一阶模态频率、弯曲刚度、扭转刚度和强度; $f_{f0}(x_i)$ 、 $f_{m0}(x_i)$ 、 $f_{B0}(x_i)$ 、 $f_{T0}(x_i)$ 、 $f_{s0}(x_i)$ 为动力电池各项性能约束值, 根据工程实践经验, 其中疲劳损伤值取 0.0035、模态频率取 60Hz、弯曲刚度取 350 N/mm、扭转刚度取 850 Nm/Deg、强度取 410 MPa; x_i 、 x_{iD} 、 x_{iU} 分别为动力电池仓各项设计变量及其取值范围。

pointer 算法适用于解决各类线性、不连续、光滑、非光滑、全局性问题, 本文采用此算法进行动力电池仓优化设计, 优化流程如图 5.2 所示。

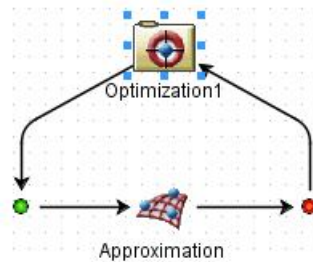


图5.2 优化流程图

经过 361114 次迭代计算, 完成电池仓结构寻优, 目标函数优化历程曲线, 如图 5.3 所示。

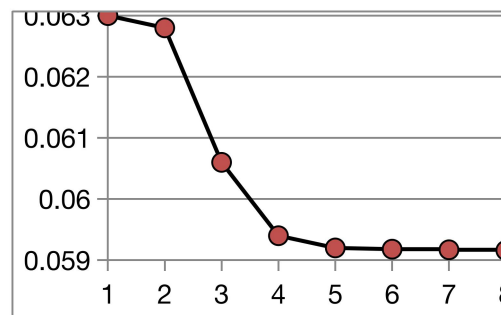


图5.3 优化目标历程图

3) 优化结果

动力电池仓优化前后各设计变量及各项性能变化如表 5.1、表 5.2 所示。

表 5.1 电池仓优化前后设计变量对比

变量/mm	优化前	优化后
前端吊装构件位置	0	+20
后端吊装构件位置	0	+99
吊装构件壁厚	3	2.6

箱体主体壁厚	1.2	1
箱体上盖壁厚	1.2	1

表 5.2 优化前后动力电池仓性能对比

设计变量	优化前仿真值	优化后仿真值	优化后数值拟合	变化率/%
应力/MPa	260	255	256	-1.9
扭转刚度 Nm/Deg	940	916	916	-2.6
弯曲刚度 N/mm	397	660	660	+66.2
疲劳损伤值	0.0013	0.0027	0.0032	+107.7
模态/Hz	66.9	66.7	66.7	-0.3
重量/kg	61.14	59.53	59.53	-2.6

由表 5.2 可见，轻量化后动力电池仓成功减重 1.61kg，占 2.6%；结构应力降低了 1.9%，扭转刚度降低了 2.6%，模态降低了 0.3%，弯曲刚度增加 66.2%，疲劳损伤值增加 107.7%，模态频率下降 0.3%，满足设计要求。

4) 数据挖掘

由优化结果发现，在本文设计空间内，模态频率和疲劳损伤值 Pareto 贡献率分别如图 5.4、图 5.5 所示，各设计响应间的关系如图 5.6 所示。



图 5.4 设计变量对模态频率的 Pareto 贡献率

结果表明，结构模态频率与后部吊装构件装配位置及箱体壁厚正相关且相关度接近，即减薄箱体壁厚对于电池模态频率的负面影响可通过调整电池后部吊装构件装配位置得到一定补偿。

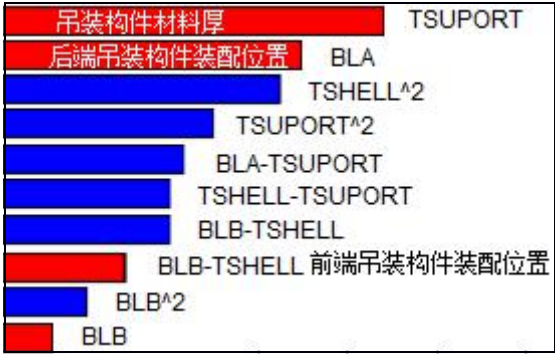


图 5.5 设计变量对疲劳损伤值的 Pareto 贡献率

动力电池的疲劳耐久性能与两组吊装构件壁厚与后向装配位置正相关且相关程度依次递减，既将吊装构件后移及增加吊装构件壁厚，可不同程度减小疲劳损伤值，提升该电池仓的疲劳耐久性能。

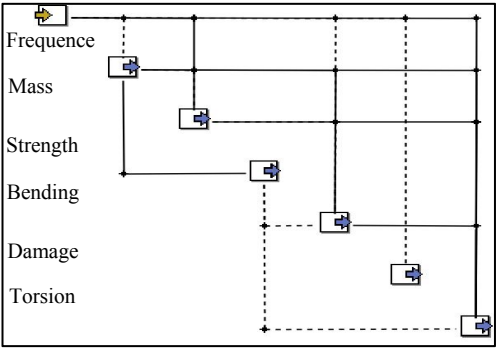


图 5.6 设计响应相关矩阵图

刚度、强度、一阶模态频率间具有较强的相关性，而疲劳损伤与上述性能间相关性较弱。