

拓扑优化技术在发动机减噪中的应用

陈馨 李云涛 王成

奇瑞汽车股份有限公司 发动机工程研究院 CAE 部

摘要: 在某款车型试验中发现高速噪声过大, 经分析是高速时发电机振动过大造成的。针对此问题, 本文采用 OptiStruct 软件, 应用拓扑优化技术, 对发电机支架进行了优化分析, 在此基础上对支架进行了结构改进。试验结果证明, 改进后的结构噪声得到有效降低, 优化效果明显。

关键词: 支架, OptiStruct, 拓扑优化, 噪声

1 前言

在某款车型试验中发现高速噪声过大, 如图 1 和图 2 所示, 通过对发动机、车身振动分析, 发现主要噪声是高速下发电机振动过大引起的, 因此需要对发电机支架进行结构改进, 提高发电机系统的固有模态频率, 以避免此频段, 尽量减少共振的可能性^[1]。

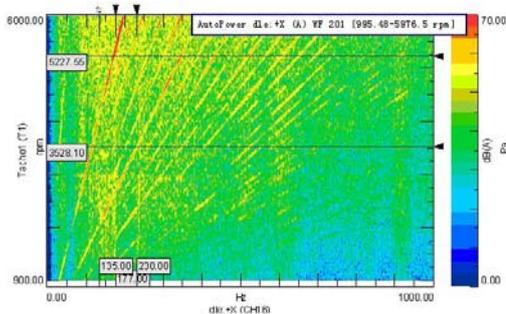


图 1 color map 图

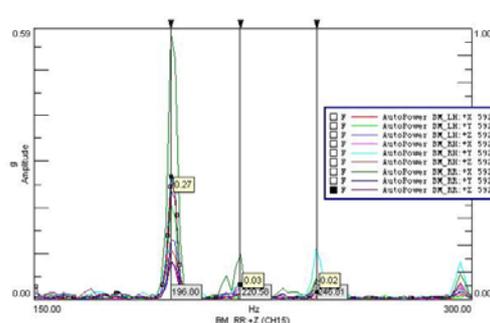


图 2 瞬态响应幅值曲线

随着有限元计算理论、技术及分析软件的发展, 优化技术为工程设计提供了有力的工具^{[2][3][4]}。此次针对发电机支架, 采用有限元计算方法, 利用软件内部的优化功能, 对支架进行了拓扑优化分析, 并以此为基础对支架进行改进^[5]。

2 原支架模态分析

2.1 建立有限元模型

发电机支架的作用是将发电机固定在缸体上, 并给发电机提供足够的支撑防止发电机在工作过程中振动过大, 因此发电机支架不仅要有足够的刚度和强度, 还须具备良好的动态性能。本发电机支架上除了安装发电机外, 还装载了动力转向泵以及惰轮, 因此分析的时候模

型包括：支架，发电机，动力转向泵，惰轮，缸体及螺栓。上述部件均采用二阶四面体单元，有限元模型如图 3 所示。各部件之间采用螺栓连接，缸体切取与支架相连的部分模型，对缸体进行全约束。

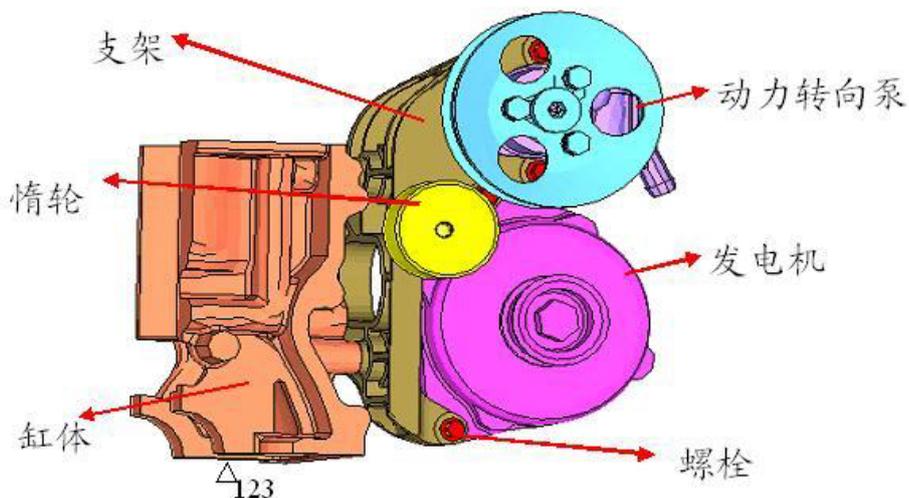


图 3 发电机支架有限元分析模型

2.2 模态计算结果

对发电机支架系统进行约束模态分析，得到前 5 阶模态及振型（见表 1 和图 4）。从计算结果中可知支架的一阶固有频率为 207Hz，与试验中噪声过大时的转速频率基本吻合，说明该转速下发电机支架振动对噪声贡献最大。为此要进行结构优化，提高支架一阶固有频率。

表 1 支架及其附件前 5 阶固有频率

阶次	1	2	3	4	5
频率	207.27	250.4	390.94	503.37	731.19

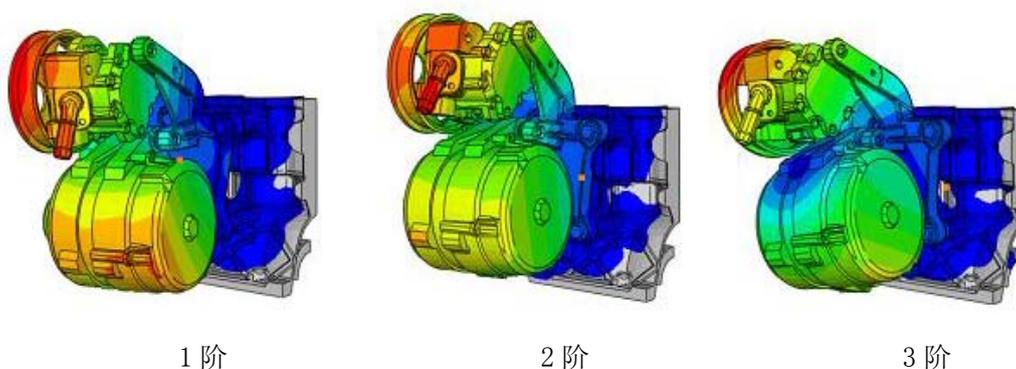


图 4 发电机支架系统前 3 阶模态振型

3 支架拓扑优化

3.1 拓扑优化的模型及设计空间定义

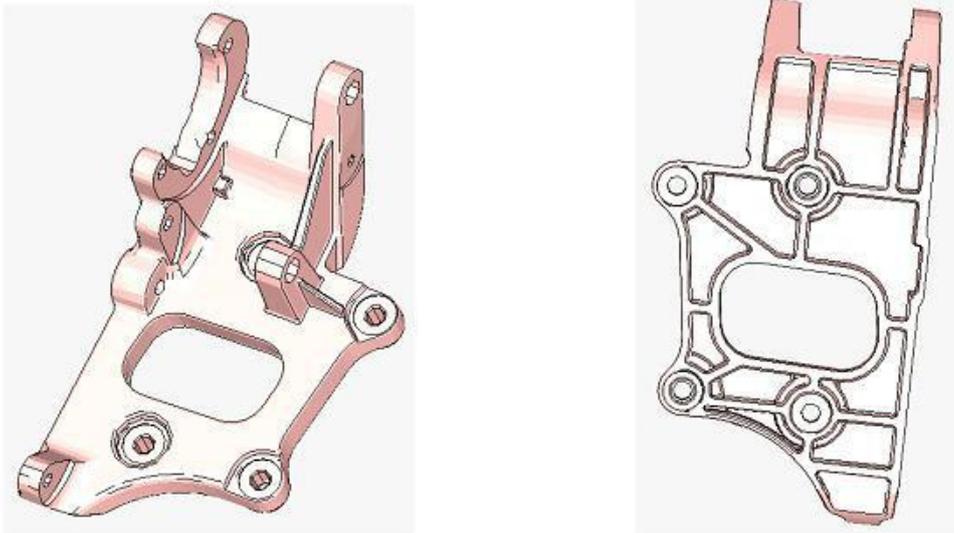


图 5 原支架有限元模型

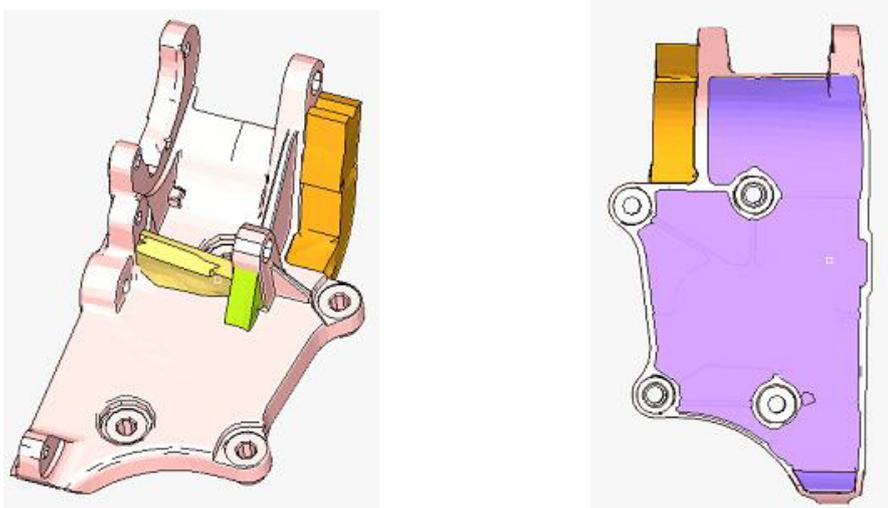


图 6 设计空间有限元模型

拓扑优化的目的是寻找结构的最佳材料分布方案。由于此支架的基本结构已经确定，因此优化针对支架加强筋的布置方案进行。首先构造支架初始模型，将支架底板及中部孔洞填平，并增加几处加强筋设计区，见图 5，图 6。考虑到加工及实际安装等因素，图中粉红色部分为非设计区，其余为设计区。分析模型除支架结构变动外，其余同图 3。

本次优化设计变量为单元密度，设计区域如图 6 所示粉红色部分以外区域，响应为支架一阶固有频率和体积，目标函数为体积，约束为支架一阶固有频率。

3.2 优化求解及后处理

在完成前面的工作后，开始进行优化计算。利用 HyperWorks 软件中 OptiStruct 优化模块，采用拓扑优化技术进行了分析，分析时考虑拔模工艺的影响，得到支架加强筋分布，分析结果如图 7 所示。

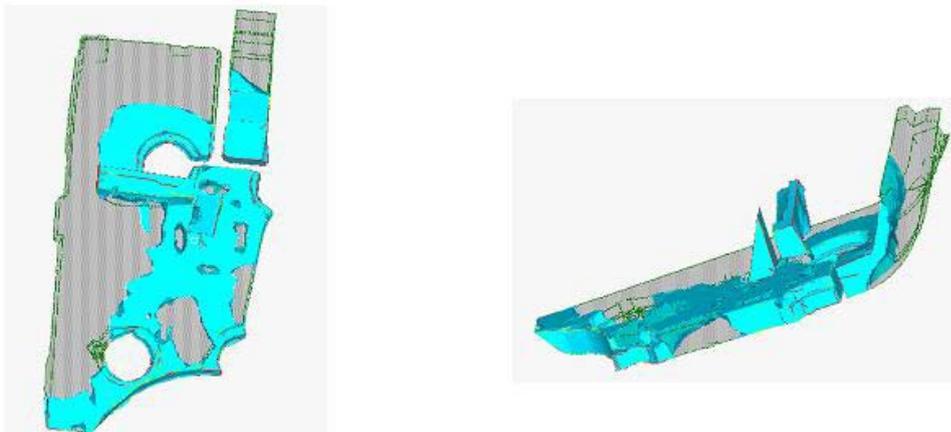


图 7 优化区域拓扑图

3.3 支架结构确定及有限元分析结果

根据优化拓扑图，结合零件的加工和装配约束，重新修改了支架结构（如图 8 所示），并对修改后的结构进行约束模态分析，其一阶频率由 207Hz 提高到 253.5Hz，改进效果明显。

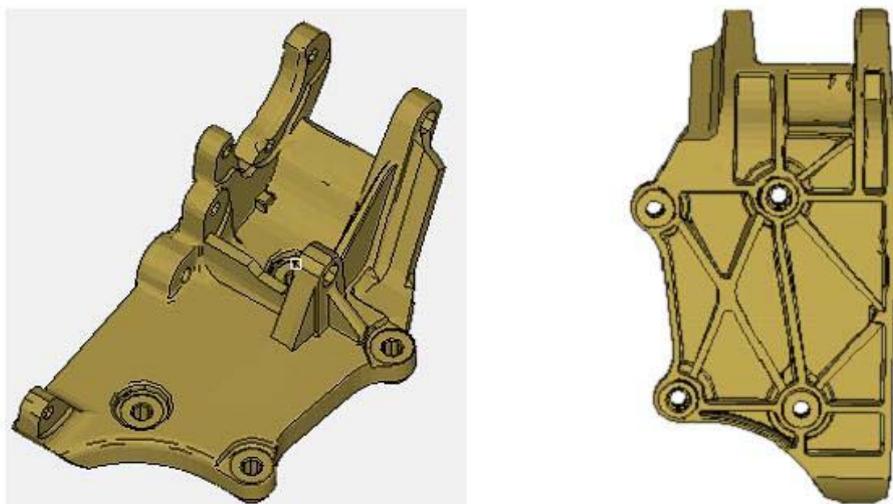


图 8 优化后支架模型

表 2 优化后支架及其附件前 5 阶固有频率

阶次	1	2	3	4	5
频率	253.52	304.58	502.60	579.08	781.98

4 试验验证

为了验证支架改进后的效果,进行了振动试验,试验结果表明采用优化后的发电机支架使高速时车内噪声峰值得到了削弱,DLE 最大降幅达到 3dbA(见图 9),效果良好。支架优化前后一阶固有频率如表 3 所示。

表 3 优化前后支架一阶频率

	计算 (Hz)	实测 (Hz)
优化前支架一阶固有频率	207	200 (锤击)
优化后支架一阶固有频率	253	240 (振动数据)

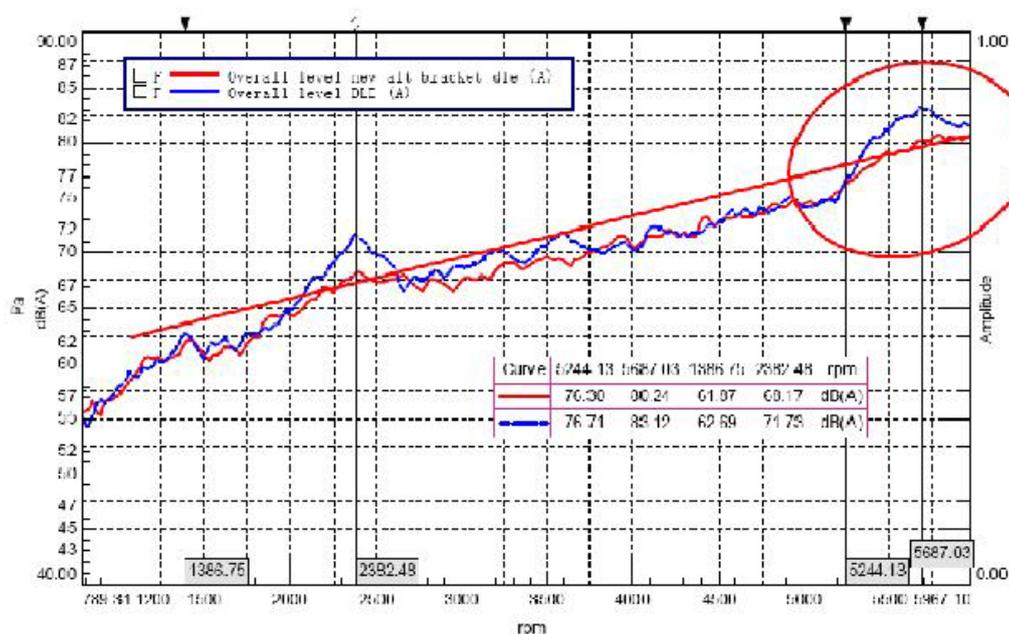


图9 支架优化前后三档全加速DLE噪声曲线

5 结论

本文采用了试验、仿真分析和优化设计相结合的方法,对发电机支架结构进行优化改进,从整个过程中可以得到如下结论:

(1) 优化后的支架频率提高了 20%,使高速时车内噪声峰值得到了削弱,DLE 最大降幅达到 3dbA。

(2) 仿真分析结果与试验结果比较吻合, 采用有限元分析方法能对部件振动特性进行有效预测, 可为后期优化指明方向。

(3) OptiStruct 优化模块为零部件的优化设计提供了十分有力的工具。

6 参考文献

- [1] 朱孟华. 内燃机振动与噪声控制. [M]. 北京: 国防工业出版社 1995: 1~5
- [2] 周克民, 李俊峰, 李霞. 结构拓扑优化研究方法综述. 力学进展. 2005, 35(1): 69~76.
- [3] Bourdin B. Filters in topology optimization .International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2001, 50 :2143-2158 .
- [4] Laurent Moulin Simulation Study of the Internal Mechanical Excitations to Reduce the Noise Emitted by a Heavy Duty Engine SAE 2003-01-1727
- [5] OptiStruct User's Guide. Altair Engineering, Inc.

The Application of Topology Optimization in Reducing Engine Noise

Abstract: The large noise at high speed had occurred in a NVH test. This problem was caused by the high vibration of generator bracket. The optimization of bracket was done with OptiStruct software. So the bracket structural modification was carried out based on the optimization. The test result indicated the noise has been reduced effectively after modification.

Key words: bracket, OptiStruct, topology optimization, noise