

汽车排气系统催化转化器振动试验夹具 拓扑优化设计

代智军 周新 刘海波 徐东辉 胡桃华

天纳克汽车工业有限公司上海研发中心

汽车排气系统催化转化器振动试验夹具

拓扑优化设计

Topology Optimization of Fixture in Exhaust System Converter Vibration Test

代智军 周新 刘海波 徐东辉 胡桃华

(天纳克汽车工业有限公司上海研发中心)

摘要：本文基于 Altair HyperWorks 的拓扑优化模块功能 (Topology)，对某型号汽车排气系统的催化转化器振动试验夹具进行了优化设计，并对优化设计后的模型进行了模态分析、频率响应分析和频域 PSD 随机振动分析，其后对优化设计进行了相应的修改。本文结果表明，利用 Altair 的拓扑优化模块能成功设计出重量轻、刚度满足要求的试验夹具。

关键词：拓扑优化，夹具，模态分析，频率响应，随机分析

Abstract: Based on the Topology Module of Altair HyperWorks, the optimization of fixture in exhaust system converter vibration test was performed. Modal analysis, frequency response analysis and PSD random analysis were performed to check if the optimized model met the frequency and stiffness targets. This paper demonstrated that the Topology Module of Altair HyperWorks was a very effective tool in designing economic test fixture.

Keywords: Topology Optimization, fixture, modal analysis ,frequency response, random analysis

1 引言

热振动试验是验证排气系统催化转化器以及 DOC/DPF/SCR 寿命的重要步骤，其中试验夹具的设计至关重要。一般要求振动试验夹具应重量轻、动态响应合理、经济耐用和易于制造。本文以某型号汽车排气系统催化转化器的振动试验夹具设计为例，讨论了基于 Altair HyperWorks/Topology 模块在振动试验夹具拓扑优化设计中的应用，并对优化后的模型进行了响应的 FEA 分析，验证了优化结果的合理性。

2 拓扑优化

2.1 试验夹具拓扑优化设计流程

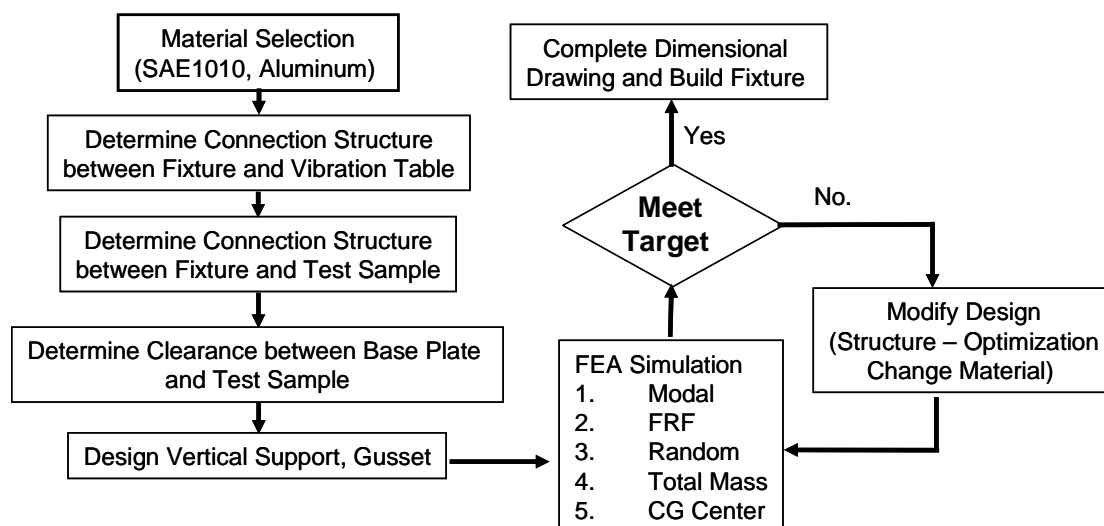


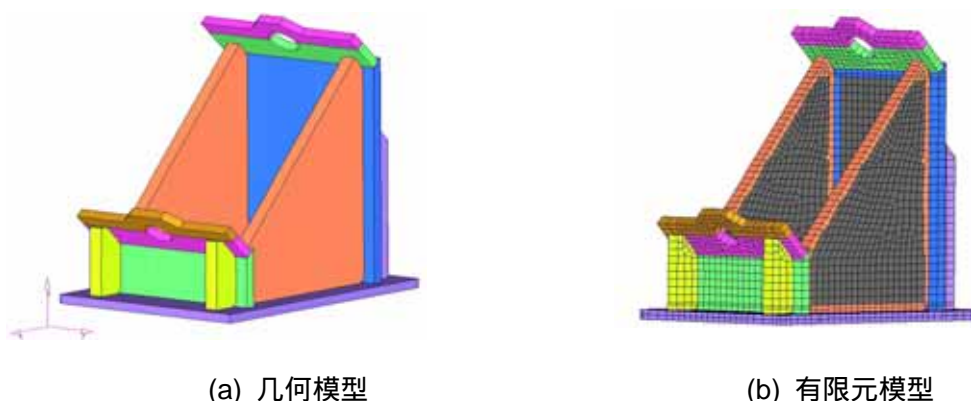
图 1 夹具拓扑优化设计流程图

Figure 1 Flow Chart of Test Fixture Topology Optimization

2.2 拓扑优化模型

Altair HyperWorks 的提供了十分丰富、强大的优化模块，其中的拓扑优化模块(Topology)是基于变密度法的基本思想，并假定材料的弹性模量与分布密度成线性关系，通过改变材料的分布密度来实现优化目标。某型号催化转化器振动试验夹具的原始 CAD 设计和有限元模型如图-2 所示，有限元模型采用六面体和三棱柱体形实体单元进行网格划分，共有节点 6058 个，单元 6120 个。材料为铸铁，弹性模量 160GPa，泊松比 0.27，密度 6900Kg/m³。原始设计的总重量为 108Kg。

本文以图 2(b)中灰色区域为优化变量，以夹具体积最小化为目标函数，以一阶固有频率大于 300Hz 和夹具底板固定为约束函数，对如图-2 所示的有限元模型进行了拓扑优化分析。



(a) 几何模型

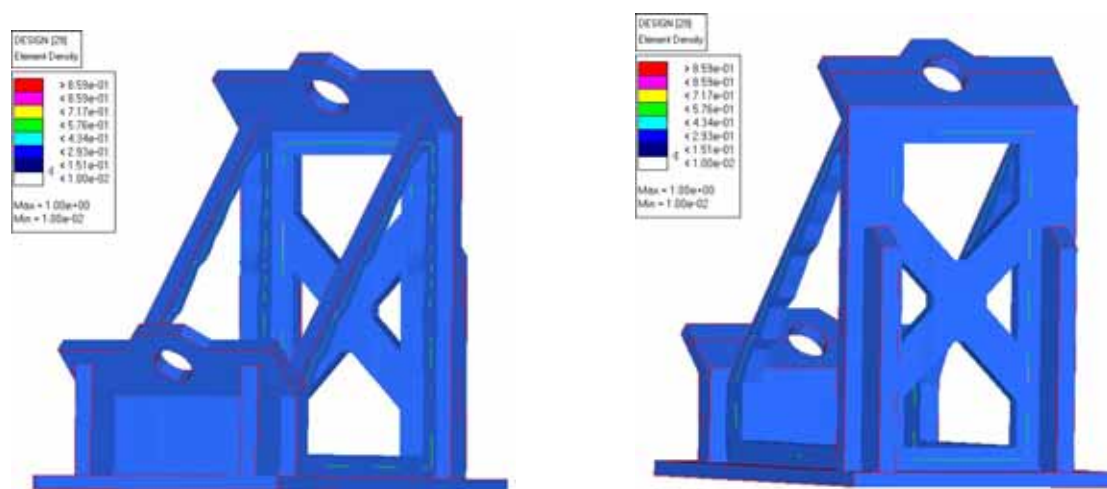
(b) 有限元模型

图 2 振动试验夹具原始设计 (a)几何模型 (b)有限元模型

Figure 2 Original Design of Test Fixture (a) CAD Model (b) FE model.

2.3 拓扑优化结果

经过 29 次迭代，最终优化设计的单元密度等如图 3 所示。



(a) 前视图

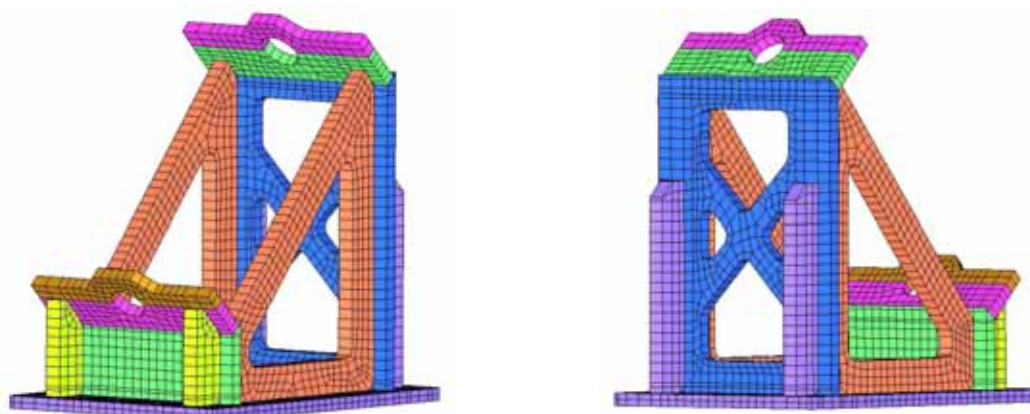
(b) 后视图

图 3 夹具拓扑优化设计的单元密度分布图

Figure 3 Element Density Contour of Topology Design

3 拓扑优化模型的验证

为确保经过优化设计后的夹具模型能满足实际工程需要，本文按 Altair HyperWorks 给出的拓扑优化结果对有限元模型进行了修改，修改后的模型如图 4 所示。其模态分析结果如图 5 所示，前两阶固有频率为 475Hz 和 551Hz。其一阶频率大于 300Hz，满足设计要求。



(a) 前视图

(b) 后视图

图 4 优化后的有限元模型

Figure 4 FEA Model after Optimization

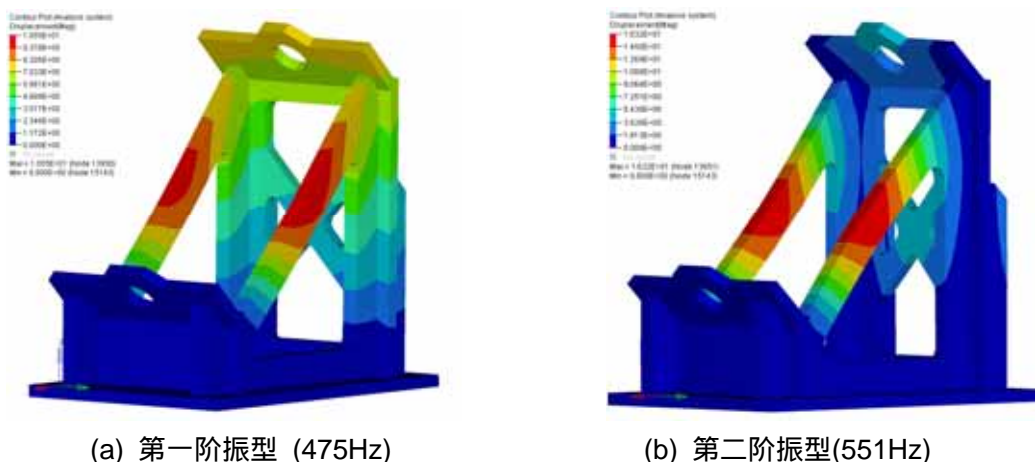


图 5 优化后模型的模态分析结果

Figure 5 Mode Shape of the Optimized Model

其次，对优化后的模型进行了频率响应分析，在夹具底板固定处输入位移激励，输出夹具与催化转化器试件连接处（节点号 900002，900003）的位移，如图 6 所示，其中催化转化器的重量为 2.8Kg。

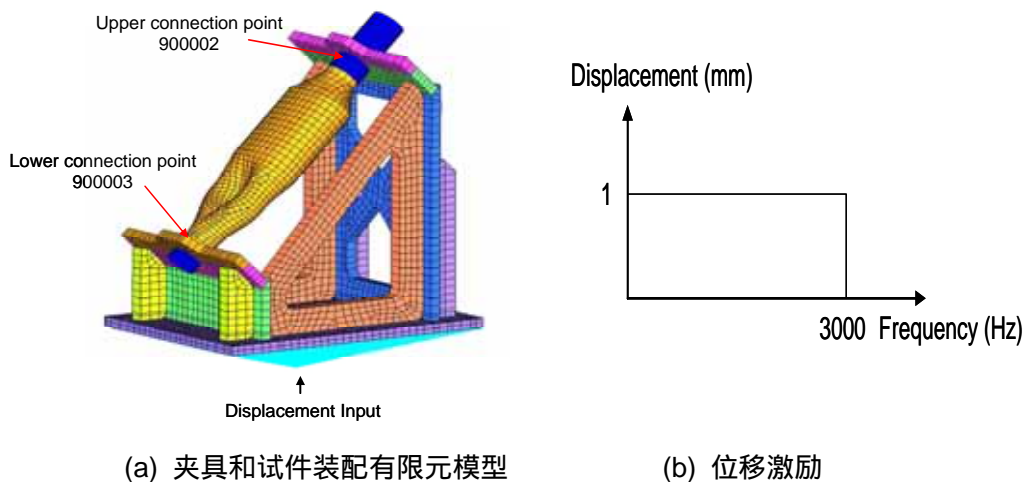


图 6 组装后的有限元模型和位移激励

Figure 6 FEA Model of Assembly and Displacement Input

定义夹具位移传递率（Transmissibility）如下：

$$Transmissibility = \frac{Output\ Displacement(mm)}{Input\ Displacement(mm)}$$

在所讨论的频率范围内(0-3000Hz)夹具的位移传递率如图 7 所示，夹具上连接点（节点号 900002）在 905Hz 附近的位移传递率为 6.4，大于设计最高允许值 5，因此需要对夹具设计进行修改，进一步增强其刚度。

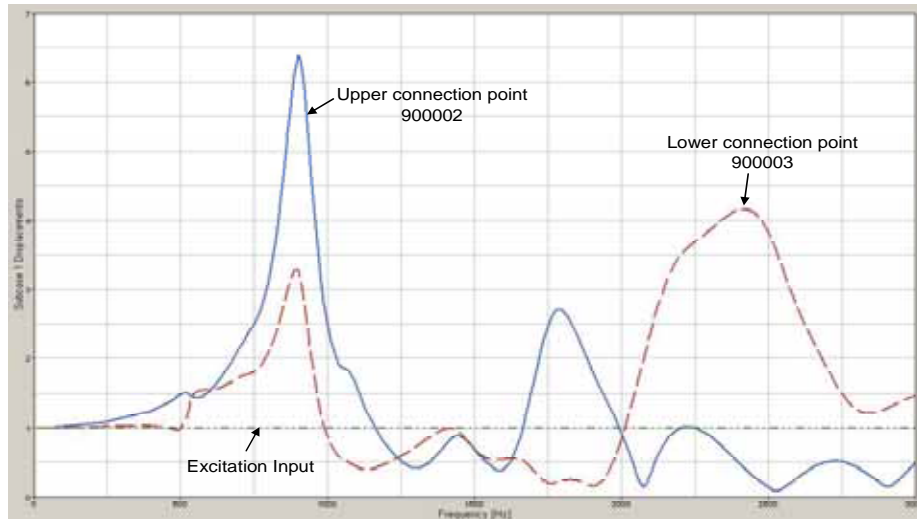


图 7 夹具位移传递率随频率的变化

Figure 7 Variation of Transmissibility of Fixture with Frequency

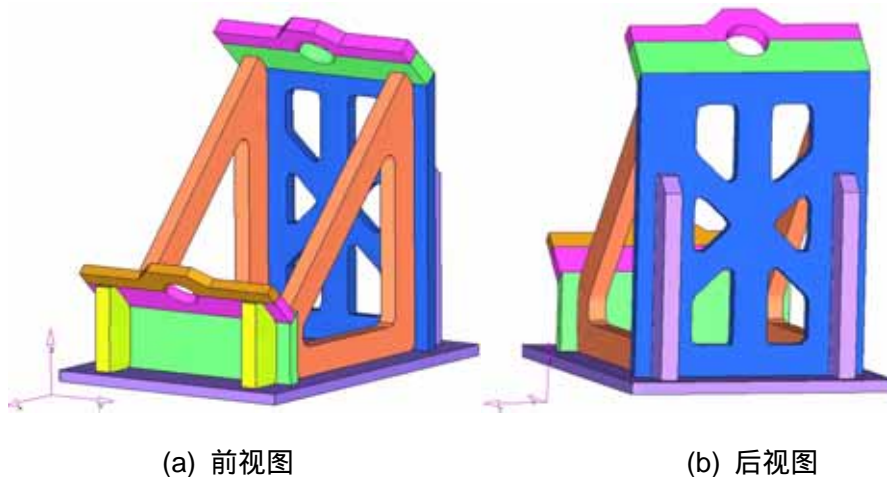
4 夹具模型的确

在上述有限元分析结果的基础上，考虑在夹具背板处增加加强筋来进一步提高其刚度，从而使位移传递率达到设计要求。修改后的夹具设计如图 8 所示，总重量为 90Kg，较原始设计重量减轻了 17%。

图 9 为修改设计的有限元模态分析结果，其一阶固有频率为 472Hz，高于 300Hz 的最低频率要求。

图 10 给出了修改后设计的位移传递率图，由图可知，其最大位移传递率小于设计允许值 5。

从夹具底板输入振动台的频域 PSD 数据(35g 和 50g)，得到夹具的随机振动分析结果如图 11 所示，峰值应力较小，满足耐久性要求。

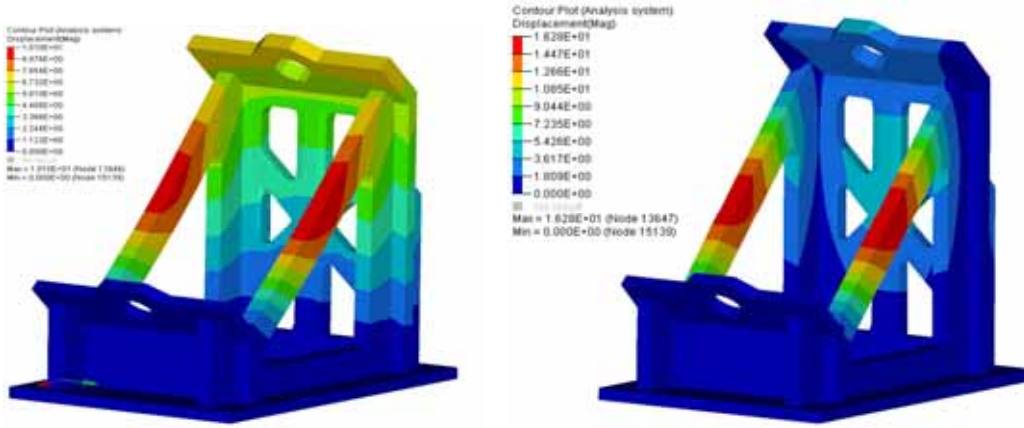


(a) 前视图

(b) 后视图

图 8 修改后的夹具设计

Figure 8 Fixture after Redesign



(a) 第一阶振型 (472Hz)

(b) 第二阶振型(562Hz)

图 9 修改设计的模态分析结果

Figure 9 Mode Shape of the Redesigned Fixture

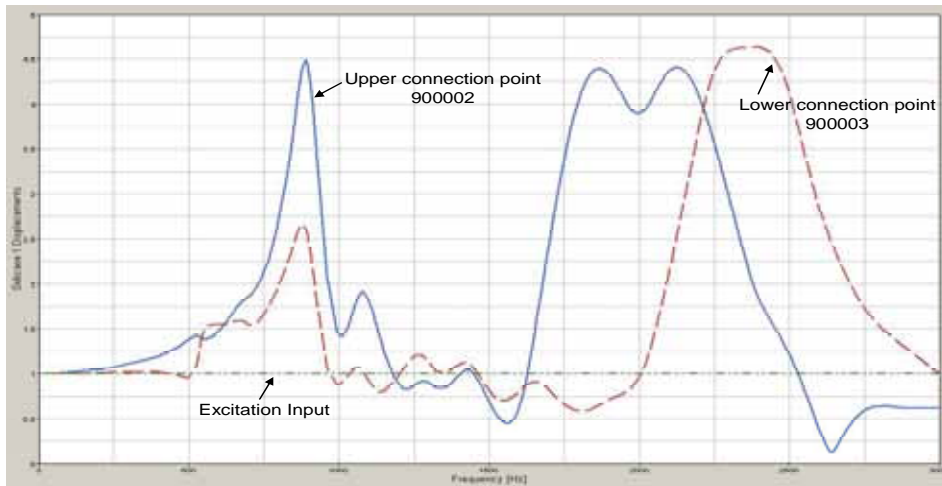


图 10 修改设计的位移传递率随频率的变化

Figure 10 Variation of Transmissibility of Redesigned Fixture with Frequency

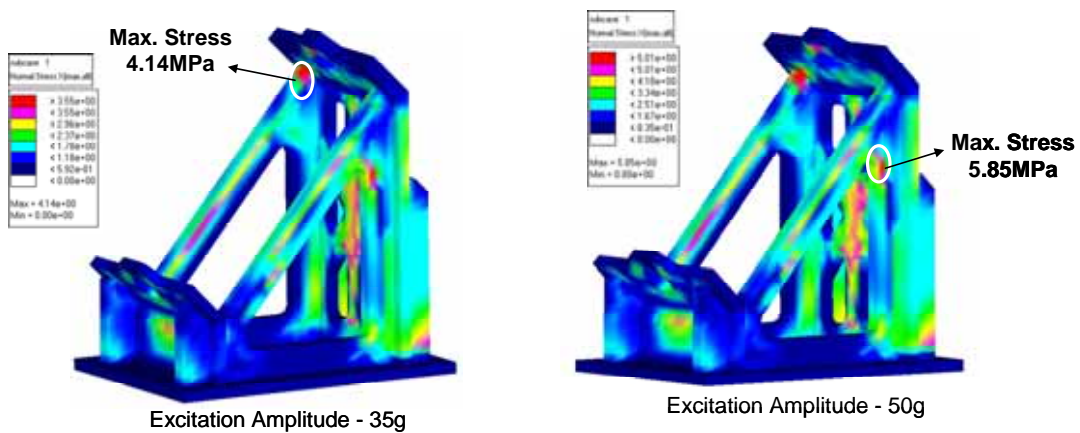


图 11 修改设计的 PSD 随机分析结果

Figure 11 PSD Random Analysis Results of Redesigned Model

5 结论

本文利用 OptiStruct 的拓扑优化功能,对用于排气系统催化转化器振动试验的夹具进行了优化设计,为满足工程要求,对优化模型进行了相应修改。通过进行模态分析、频率响应分析和 PSD 随机振动分析,验证了最终设计的合理性。本文表明基于 Altair HyperWorks 的拓扑优化功能,可以很方便地设计出满足实际工程需要的振动试验夹具。

6 参考文献

- [1] Altair Engineering, "OptiStruct Manual".
- [2] 于开平 周传月 谭惠丰等编著 HyperMesh从入门到精通 科学出版社 2005.5