

某商用车排气系统模态试验与仿真对标研究

王 兰 郭昶生 党 龙 李 慧 周 刚
陕西万方汽车零部件有限公司 陕西西安 710200

摘 要: 围绕某国六排气系统开发过程中所需的仿真分析开展以模态试验、模态分析为主的验证与优化有限元结构模型的研究工作, 通过使用 LMS Test.lab、HyperWorks 软件对排气系统模态进行测试与仿真分析, 对标排气系统在前 100HZ 范围内整体模态频率, 优化模型系统刚度, 最终使仿真分析模态与试验测试数据误差控制在 10% 以内, 从而提高有限元模型的精度进一步提高仿真分析的精度。

关键词: 商用车排气系统; 模态测试分析; 仿真与试验对标; 有限元模型优化

Study on modal test and Simulation calibration of exhaust System of a Commercial Vehicle

Lan Wang, Changsheng Guo, Long Dang, Hui Li, Gang Zhou
Shaanxi Wanfang Auto Parts Co., Ltd. Shaanxi Xi'an 710200

Abstract: Modal test and modal analysis were used to verify and optimize the finite element structural model for the simulation analysis needed in the development process of a national vi exhaust system. LMS Test. Lab and HyperWorks software was used to test and simulate the exhaust system modal, and the overall modal frequency of the exhaust system within the first 100HZ was calibrated to optimize the stiffness of the model system. Finally, the error between simulation analysis mode and test data is controlled by 10%, so as to improve the accuracy of the finite element model and further improve the accuracy of simulation analysis.

Keywords: exhaust system of Commercial vehicle; modal test analysis; simulation and test benchmarking; Finite element model optimization

引言:

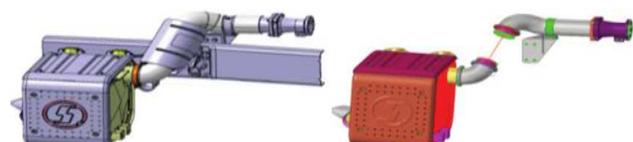
作为非主机厂的零部件企业, 在没有整车模型条件下, 如何保证系统性分析精度是一项重要的指标。在外部输入条件一致的前期下保证搭建的有限元模型精度就显得尤为重要。本文以某商用车排系统开发过程仿真分析项目为载体, 通过测试实车模态进行模态数据与仿真模态分析与对标, 优化有限元模型的刚度K, 最终在前 100HZ 频率中使仿真频率与试验输出频率误差控制在 10%, 既保证有限元仿真模型的精度, 又为 NVH 分析奠定良好的基础模型。

一、排气系统模态仿真分析

1. 排气系统三维模型简化

商用车排气系统输入端固定在发动机排气歧管, 中间管路依靠卡箍与支架固定在车架上, 为避免来自发动机的振动影响, 管路与后处理箱体之间设置有波纹管,

后尾气处理器则通过过渡支架固定在车架上。经过简化及有限元中建模处理, 整体三维数模及有限元模型如图 1 所示。有限元模型简化: 与车架、发动机排气歧管处固定连接均简化为 rbe2 刚性连接且约束 6 个自由度, 波纹管简化为梁单元赋予刚度。弯管与法兰焊接均手动创建焊缝。



三维数模

有限元分析模型

图 1 数据模型

2. 模态求解与分析

通过求解器 Optistruct 进行模态分析求解出频率、振型及系统刚度以及对应的特征值。如图 2 所示。经初

步运算，整体系统前100HZ内出现两阶整体模态^[1]。频率分布为53.3HZ，78.21HZ。振型以Z向振动和X向振动为主。

| Mode | Frequency | Eigenvalue | Stiffness |
|------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | 5.330696E+01 | 1.121832E+05 | 1.121832E+05 |
| 2 | 7.821083E+01 | 2.414869E+05 | 2.414869E+05 |
| 3 | 1.100989E+02 | 4.785484E+05 | 4.785484E+05 |

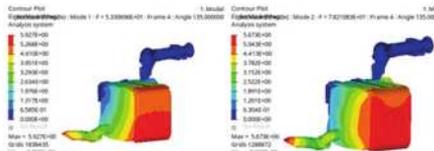


图2 模态计算结果图

二、排气系统实车中模态试验研究

1. 实车模态测试

为验证分析所搭建模型的精准度，组织一次实车模态测试试验，旨在以实测模态数据校准有限元模型的仿真精度。以分析产品的对应车型为试验对象，基于LMS公司数据采集硬件与软件对数据进行测试与处理。

1.1 模态试验系统介绍

试验数据采集系统：LMS国际公司SCM-V8-E16通道数据采集系统。

试验数据分析处理软件：LMS国际公司TEST.Lab signature/Test.Lab modal analysis/polyMAX。

传感器：PCB公司三轴加速度传感器。

1.2 测点布置与几何建模

依据仿真分析结果，整体模态振型以SCR箱体Z向与X向振动为主，结合通道数与加速度传感器数量，本次测试分两批次共布置8个三轴加速度传感器，布置在SCR箱本体8个角处，如图3所示。

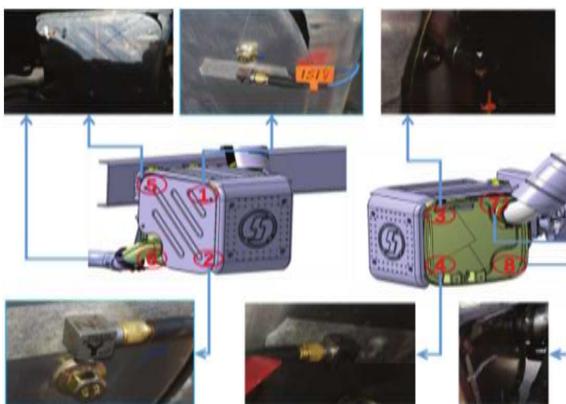


图3 传感器布置图

1.3 试验过程介绍

此次模态试验是用锤击法进行测试，选择的锤头对测量数据有重大的影响，输入激励的频率范围主要受选

择锤头的硬度控制，锤头越硬，输入激励所激起的频率范围越宽，锤头越软，输入激励所激起的频率范围越窄。锤头的选择要能确保在考虑的频率范围内能激起所有关注的模态。本次锤头选择PCB短柄冲击力锤086D20型号中等硬度。试验按照单点激励多点输出（MIMO）方式进行，分两次完成，每次按照X、Y、Z顺序单方向分别敲击三次。敲击位置如下图4所示。



图4 力锤敲击点

1.4 模态试验数据提取与处理

排气系统阻尼小，锤击激起的结构响应在采样周期末端不会完全衰减到零，在数据处理时需施加指数窗函数减少泄露^[2]。经过软件对时域数据进行FFT计算后得到频响函数及稳态图，稳态图是寻找系统极点的常用工具，其中s列表明了极点的位置，同时需要结合各极点MAC值（MAC ≥ 0.999）确定共振峰是否为所求的模态。排除局部模态后，识别的整体模态为一阶25.08Hz，二阶为34.73Hz；s表示频率、阻尼和阵型向量同时稳定。

三、仿真与试验测试结果对标分析

提取前100HZ范围频率及振型，对比仿真与试验结果如表1所示。

表1 仿真与试验结果对标

| 仿真模态 (Hz) | 实验模态 (Hz) | 结论 |
|-----------|------------|----------------------------|
| 一阶模态 53.3 | 一阶模态 25.08 | 误差较大，仿真模态频率大于试验频率。二阶振型不一致。 |
| 二阶模态 78.2 | 二阶模态 34.73 | |

依据频率计算公式 $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$ 可知，一二阶仿真模态高于实测模态，推测为分析模型系统刚度过大或者质量偏小导致，但此系统质量为固定质量，故推断为系统刚度过大造成。

四、模型优化分析与测试对标

经过分析推断，仿真分析过程中去掉车架，仅约束过渡支架螺栓孔的6个自由度，使得系统刚度增加，故增加车架部分模型释放一定的刚度，再次运行计算出系统前100HZ频率与试验数据对比如表2所示：

表2 优化后仿真结果与试验对标

| 仿真模态 (Hz) | 实验模态 (Hz) | 频率误差 | 振型 |
|--|---|------|----------|
|  一阶模态 23.8 垂向模态 |  一阶模态 25.08 垂向模态 | 5.1% | 振型 一致 |
|  二阶模态 38.0 Y向模态 |  二阶模态 34.73 Y向模态 | | |

五、结束语

零部件公司对单一系统进行有限元分析时，在脱离整车环境下保证分析精度是一项必要工作。针对本文中排

气系统，应用越来越受重视的模态分析来验证有限元模型，将仿真结果与试验结果进行对标，寻找误差与误差产生原因，最终通过优化仿真模型系统刚度K，从而提高数字模型的精度，最终将对对比误差控制在10%以内。此方法进一步验证了模态分析的作用及有效性，以此作为常规化验证方法可推广应用至其他产品数字化模型精度提升^[3]。

参考文献：

[1] (美) Peter Avitabile. 模态试验实用技术实践者指南[J]. 机械工业出版社, 2021. (9) 202.

[2] 吴永桥. 汽车排气总管的静力分析和模态分析[J]. 武汉汽车工业大学学报, 2020, 22 (1), 10—13.

[3] 李天力. 汽车排气系统机械性能研究[J]. 天津汽车, 2019, (06): 31-37.