

文章编号:1671-6833(2011)04-0030-04

汽车排气系统悬挂点影响车内噪声的研究

姚运仕^{1,2}, 马芳武², 冯忠绪¹, 赵福全², 李刚², 袁连太², 王海林², 刘强²

(1. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 浙江吉利汽车研究院有限公司, 浙江 杭州 311228)

摘要: 汽车排气系统对车内噪声有重要影响, 针对车内噪声控制问题, 采用试验和仿真相结合的方法, 对实车进行了多工况测试, 对排气系统进行了模态仿真分析. 实车测试结果表明, 通过排气系统悬挂点传播的振动噪声是引起车内噪声的重要因素, 排气系统模态仿真结果表明, 原悬挂点偏离模态节点需进行优化. 对悬挂点优化后的排气系统进行了验证试验, 结果表明: 排气系统悬挂点优化后, 车内噪声有明显降低, 平均降噪 2.5 dB(A), 后排降噪量达 5 dB(A), 研究成果可以指导工程应用.

关键词: 汽车工程; 排气系统; 噪声; 模态

中图分类号: U461; TH12 **文献标志码:** A

0 引言

排气系统是动力系统的重要组成部分, 影响车辆 NVH 性能. 国内外许多学者研究了排气系统对车辆振动和噪声的影响. RAO 和 GALINDO 等认为排气系统吊耳和悬挂点对车内振动和噪声具有重要影响^[1-2]; 杨万里等对排气系统模态进行了分析, 认为排气系统模态匹配的基本要求是无重频^[3-5]; 邢素芳等讨论了排气系统振动特性, 通过改变固有频率, 降低振动和噪声^[6-7]; 上官文斌等对吊耳进行了优化设计, 提高寿命和可靠性的同时, 改善了乘坐舒适性^[8-9]; 田育耕等分析了悬挂点对车辆 NVH 性能的影响, 通过调整悬挂点到节点位置, 改善了平顺性^[10-12].

笔者以排气系统悬挂点为研究对象, 通过试验与仿真相结合, 选择排气系统振动较小的位置作为悬挂点, 减少了排气系统振动向车身的传递, 降低了车内噪声. 试验采用 LMS 公司的测试系统, 由麦克风记录车内噪声, 由三向加速度传感器记录振动加速度.

1 排气系统对车内噪声影响分析

排气系统一般是指从发动机排气歧管到排气尾管各个部件的集成, 通过若干吊耳安装在车身上.

整个系统可认为是质量分布不均匀的变截面管状杆件, 其振动模态较复杂.

排气系统的噪声源一般包括周期性噪声、冲击噪声、辐射噪声和气流摩擦噪声等, 这些噪声必然通过空气和结构向车内传播. 排气系统各个悬挂点是排气系统和车身的唯一连接点, 也是噪声重要的结构传播途径.

另外, 排气系统一般通过法兰和吊耳分别与发动机排气歧管以及车身地板相连. 由于受发动机本身振动和排气激励的影响, 振动相对较大, 并通过悬挂点传给车身, 引起较大的车内噪声^[13].

因此, 排气系统对车内噪声的影响应考虑两方面: 一是噪声经悬挂点传播引起的车内噪声, 二是振动经悬挂点传给车身引起的车内噪声.

2 排气系统影响车内噪声的实车测试

2.1 车内噪声实车测试

目标车是自主开发的首款 SUV 车, 为了评价车内噪声水平, 参考国标 GB18697—2002 试验条件, 按图 1 测点布置方案进行了怠速工况和二档急加速工况车内噪声测试, 车内噪声某测点位置及排气系统某悬挂加速度测点位置见图 2~图 3, 测试结果见图 4~图 5.

收稿日期: 2011-01-09; 修订日期: 2011-04-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)资助项目(AA11A122); 中国博士后科学基金面上资助项目(20100471591).

作者简介: 姚运仕(1979-), 男, 山东费县人, 工学博士, 长安大学副教授, 主要从事工程机械理论和车辆减振降噪方面的研究工作. E-mail: yaoyys@chd.edu.cn.

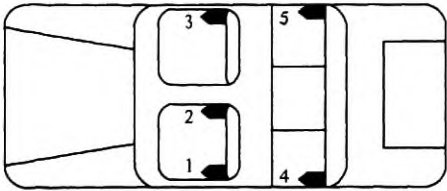


图 1 车内噪声测点示意图

Fig. 1 Test points of vehicle interior noise



图 2 车内某噪声测点位置

Fig. 2 Microphone of test point

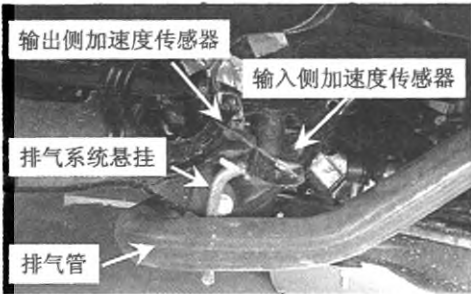


图 3 排气系统某悬挂振动测点位置

Fig. 3 Vibration sensor of exhaust system

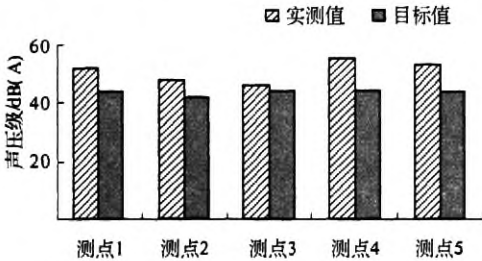


图 4 怠速工况车内噪声与目标值对比

Fig. 4 Comparison of idle noise and goal

由图 4 可知,噪声在车内分布不均匀,各测点间噪声值大小不等,驾驶员位置噪声高于副驾驶员位置噪声,后排噪声高于前排噪声;各测点噪声高于目标值,且后排两测点与目标值的差距较大.由图 5 可知,在整个二档急加速过程中,测点 2 实测值随转速升高而增加,局部有波动,在大部分转速范围内,虽然实测线基本平行于目标线,但实测值略高于目标值与内噪声需进行优化.

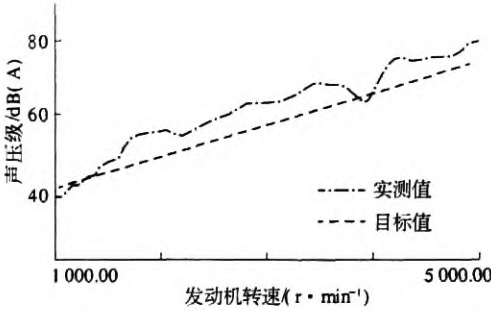


图 5 二档急加速工况测点 2 噪声测试结果

Fig. 5 Noise of point II in 2-Gear WOT

2.2 车内噪声试验结果分析

试验过程中主观评价认为车内噪声含低频的排气系统噪声,可能是引起车内噪声超目标值的因素之一,故重点对排气系统进行测试分析,试验分为怠速工况和二档急加速工况.

目标车排气系统有 5 个悬挂点,分别通过橡胶吊耳与车身相联,为了判断悬挂点对车内噪声的影响,对 5 个悬挂点输入、输出振动和车内噪声进行了测试.由于振动由排气系统传向车身,因此,排气系统上的悬挂点是振动输入,车身侧悬挂点是振动输出.振动输出越大,则排气系统向车身侧传递能量越高.

图 6 是二档急加速工况排气系统车身侧悬挂点 1 振动与测点 5 噪声对比图.由图 6 可知,在整个加速过程,悬挂点 1 的振动随发动机转速的增

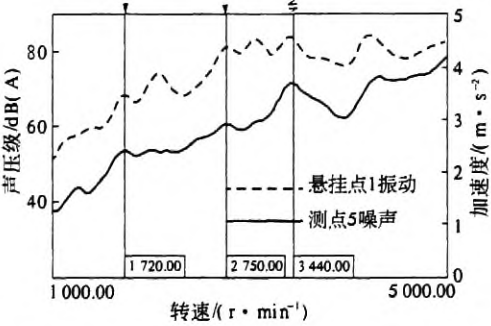


图 6 排气悬挂点 1 振动与测点 5 噪声对比图

Fig. 6 Hanger I vibration and point V noise

加而增加,在部分转速下波动较大,存在较大峰值;测点 5 的噪声随发动机转速的增加而增加,但曲线相对平缓,在 1 720,2 750 和 3 440 r/min 等多个转速下出现峰值,且对应悬挂点 1 的振动峰值.

综上所述:排气系统悬挂点位置不合理,通过悬挂点向车身侧传递的振动能量较高,必然引起较大的车内噪声.

3 排气系统模态仿真分析

3.1 排气系统模态仿真结果分析

在建立有限元模型的基础上,对排气系统进行自由模态求解分析.求解时,设置模态提取频率为 0~200 Hz,确定其各阶模态固有频率,并对悬挂点安装位置进行分析.模型采用壳单元,法兰用六面体单元,螺栓连接采用 RBE2 单元,单元基本尺寸为 5 mm,有限元模型见图 7,模型和材料信息见表 1~表 2.前四阶模态分析结果见图 8.

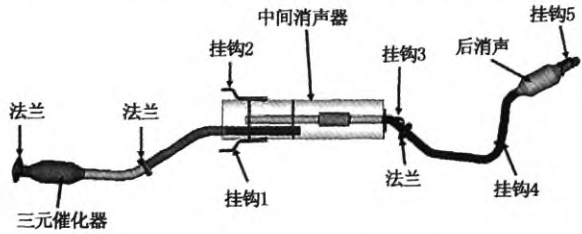


图 7 排气系统有限元模型
Fig.7 FEM of exhaust system

表 1 有限元模型信息

Tab.1 Information of exhaust system FEM

单元信息		质量信息	
单元总数/个	83 599	质量/kg	20.38
壳单元/个	77 364	净化器总成/kg	4.26
体单元/个	5 379	中消声器/kg	12.06
RBE2 单元/个	856	后消声器/kg	4.06

表 2 材料信息

Tab.2 Information of materials

部件	材料	弹性模量/ GPa	泊松比	密度/ (t·mm ⁻³)
法兰	Q235A	201	0.31	7.32E-9
其他	SUH409	210	0.35	7.85E-9

3.2 悬挂点位置仿真优化结果

由于模态节点处振动较弱,因此,悬挂点优化的目标是悬挂点选在模态节点处,若因结构受限,应尽量靠近模态节点.根据仿真分析结果和原排气系统悬挂点位置分析可知:部分悬挂点位置偏离模态节点较远,原悬挂点 1 和 2 位置不满足要求,布置在 $x=1\ 676\text{ mm}$ 附近更优;原悬挂点 3 位置不满足要求,将悬挂点 3 去掉;原悬挂点 4 位置基本满足要求,布置在 $x=2\ 589\text{ mm}$ 附近更优;原悬挂点 5 位置基本满足要求,布置在 $x=3\ 069\text{ mm}$ 附近更优.排气系统悬挂点仿真优化结果见图 9.

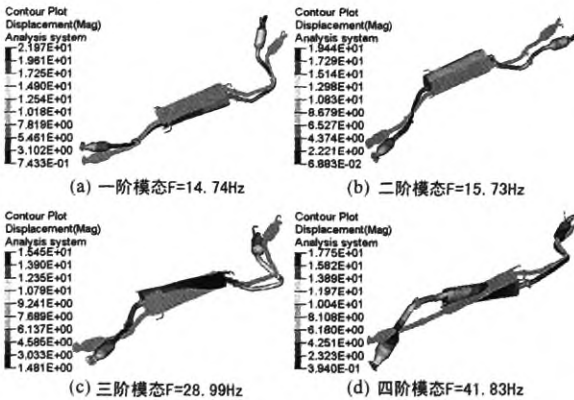


图 8 排气系统前 4 阶自由模态仿真结果
Fig.8 Free modals of exhaust system

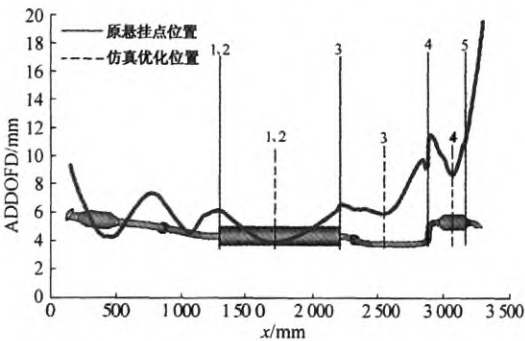


图 9 排气系统悬挂点仿真优化结果
Fig.9 Optimization of exhaust system hangers

4 悬挂点优化结果试验验证

为了验证排气系统悬挂点位置优化结果,进行了第二次车内噪声测试,试验方案、条件同前.试验结果见图 10~图 11 所示.

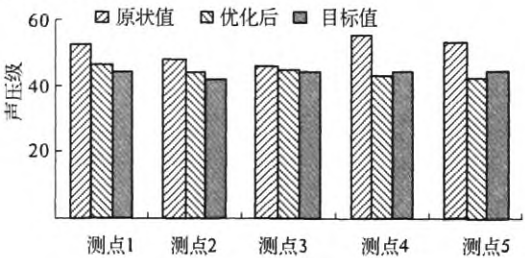


图 10 优化后怠速工况车内噪声测试结果
Fig.10 Idle noise with hangers optimization

由图 10~图 11 可知,怠速工况下,车内各测点噪声均大幅降低,其中,后排噪声降低幅值较大,测点 3 噪声降低幅值最小;优化后,车内噪声各测点间差距减小,且后排噪声小于前排噪声;优化后,虽然前排 3 个测点噪声都有降低,但仍稍高于目标值,后排两个测点已经满足目标值要求.二档急加速工况,优化后测点 5 的噪声值下降较多,在整个转速内噪声值在目标值下方波动性增长,只在个别转速处稍高于目标值,优化效果明显.

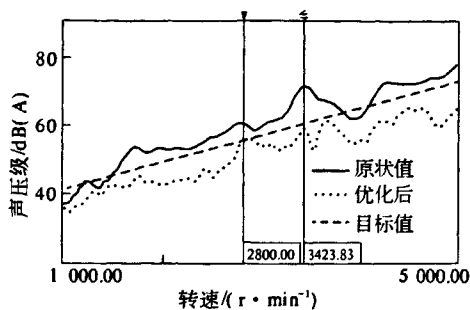


图11 优化后某工况测点5噪声测试结果

Fig. 11 Point V noise with hangers optimization

5 结论

针对排气系统对车内噪声的影响问题,分析了排气系统振动噪声源,通过排气系统模态仿真,对排气系统悬挂点位置进行了优化.结果表明:排气系统对车内噪声影响较大,除空气传播的辐射噪声外,通过悬挂点的结构传播噪声是影响车内噪声的重要因素之一;排气系统振动较大,调整悬挂点至模态节点,通过悬挂点向车身侧传播的振动减小,车内噪声有明显降低,平均降噪 2.5 dB(A),各测点噪声差值减小,特别是后排车内噪声降低较大,满足目标值要求;其中,怠速工况,前排噪声平均降低 2 dB(A),后排噪声平均降低约 5 dB(A),加速工况,后排噪声最大降噪量达 6 dB(A).

参考文献:

[1] RAO M D, WIRKNER K J, GRUENBERG S. Dynamic characterization of automotive exhaust isolators [J]. Journal of Automobile Engineering, 2004, 218

(8):891-900.

- [2] GALINDO M M. Science&technology designing exhaust systems[R]. SAE Paper, 2003:01-1656.
- [3] 杨万里,陈燕,邓小龙.乘用车排气系统模态分析数值模型研究[J].三峡大学学报:自然科学版,2005,27(4):345-347.
- [4] 蒋启成,王跃武,孟强,等.汽车排气系统的模态实验分析[J].机械设计与制造,2009(1):144-145.
- [5] 方勇,张建武.基于有限元的汽车排气系统模态分析[J].苏州市职业大学学报,2009,20(1):24-26.
- [6] 邢素芳,王现荣,王超,等.发动机排气系统振动分析[J].河北工业大学学报,2005,34(5):109-111.
- [7] 谷芳,刘伯潭,李洪亮,等.基于CFD数值模拟的汽车排气系统结构分析[J].内燃机学报,2007,25(4):358-363.
- [8] 黄志,范让林,段小成,等.汽车排气系统吊耳及设计原则[J].噪声与振动控制,2009(4):110-113.
- [9] 上官文斌,黄志,贺良勇,等.汽车排气系统吊耳动刚度优化方法的研究[J].振动与冲击,2010,29(1):100-103.
- [10] 田育耕,刘江华,王岩松,等.汽车排气系统振动模态分析及悬挂点优化[J].辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2009,28(6):995-998.
- [11] 马开柱,陈剑,王建楠.排气系统模态分析及悬挂点位置优化[J].机械设计与制造,2008(11):202-203.
- [12] 张家玺,王远,潘震,等.基于MSC.Nastran的排气系统悬挂点布置分析[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2009,32(12):1805-1808.
- [13] 赵海澜,顾彦.汽车排气系统悬挂点优化[J].计算机辅助工程,2006,15(增刊):230-231.

Influence of Exhaust Hanger Locations on Vehicle Interior Noise Level

YAO Yun-shi^{1,2}, MA Fang-wu², FENG Zhong-xu¹, ZHAO Fu-quan², LI Gang², YUAN Lian-tai²,

WANG Hai-lin², LIU Qiang²

(1. Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Zhejiang Geely Automobile Institute Co., Ltd, Hangzhou 311228, China)

Abstract: Exhaust system is one of factors that affect vehicle interior noise. In order to reduce the noise level, tests were carried on the prototype and exhaust modes were simulated. The results show that exhaust hanger is major factor on vehicle interior noise. The exhaust hanger, mounting locations, should be optimized according to the system analysis on the vibration nodes. After the optimization of exhaust hanger, the vehicle interior noise level has been cut down with 2.5 dB(A) average and 5 dB(A) in rear seats.

Key words: automotive engineering; exhaust system; noise; mode