

# 汽车排气系统低频噪声分析及优化

## Analysis and Optimization of Low-frequency Noise for Automobile Exhaust System

耿鹏飞 石岩 杨启光

(长城汽车股份有限公司技术中心, 河北省汽车工程技术研究中心)

**摘要:** 某车型 1500rpm 车内存在明显的低频轰鸣声, 经排查由排气系统尾管噪声引起。应用 GT-Power 软件将发动机工作过程与排气消声器仿真模型耦合, 计算得出排气系统尾管噪声, 并针对问题对消声器进行优化设计。优化后获得良好的排气噪声水平, 提升整车 NVH 性能, 同时保证发动机性能不变。

**关键词:** GT-Power、排气消声器、尾管噪声、优化

**Abstract:** There exists obviously low-frequency noise in a vehicle at 1500rpm, which results from the tailpipe noise of exhaust after troubleshooting. Using GT-Power, the exhaust tailpipe noise is figured out by coupling the working process model of engine and the simulation model of muffler. Muffler design has been optimized in terms of problems above. The level of exhaust noise, thus NVH performance of the vehicle, has been improved significantly, while the performance of engine maintains at the same level .

**Key words:** GT-Power、exhaust muffler、exhaust noise、optimization

## 0 前言

排气噪声是汽车噪声的主要噪声源, 采用结构合理的排气消声器是减小整车噪声的最有效、简单的途径<sup>[1]</sup>。随着噪声控制法规越来越严格, 以及消费者对整车噪声品质的要求逐渐提高, 传统消声器设计已不能满足现代汽车消声器设计需要。采用数值模拟方法指导排气系统前期开发, 大大减少开发成本和缩短开发周期。颜伏伍<sup>[2]</sup>运用 GT-Power 软件对发动机和消声器进行模拟, 准确预测排气系统尾管噪声, 有效地指导消声器设计; 边杰<sup>[3]</sup>等利用 GT-Power 软件模拟分析消声器结构对排气噪声、发动机性能以及排气系统参数的影响, 设计出性能优异的排气系统。本文运用 GT-Power 软件对某新车型排气系统进行噪声优化设计。

## 1 问题描述

某新车进行 NVH 性能评价时，在发动机 1500rpm 车内后排乘客位置存在明显的低频轰鸣声，严重影响车内品质。为查找轰鸣声产生原因，对车内噪声进行测试，在后排右侧乘客左耳布置麦克风试验结果见图 1。其中黑色线为总级，红色线为二阶，可见后排右侧乘客左耳在发动机 1500rpm 时，发动机二阶能量贡献特别大，与总级相差仅 1dB (A)。通过问题排查，发现排气口噪声在 1500rpm 处发动机二阶能量存在峰值，达到 71.3dB (A)，仅比总级小 3.7dB (A)，且主要能量集中在 50Hz 附近，见图 2 和图 3，与后排右侧乘客左耳位置测试结果相似，初步判定车内后排轰鸣声由排气系统引起。

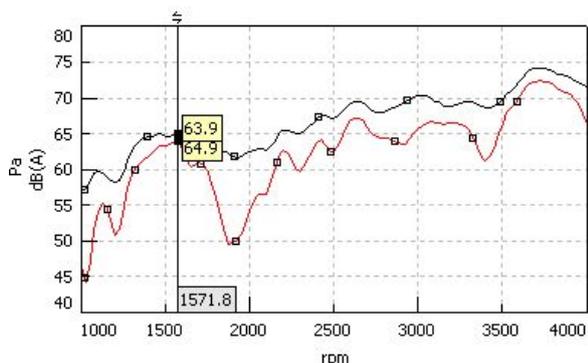


图 1 后排右侧乘客噪声

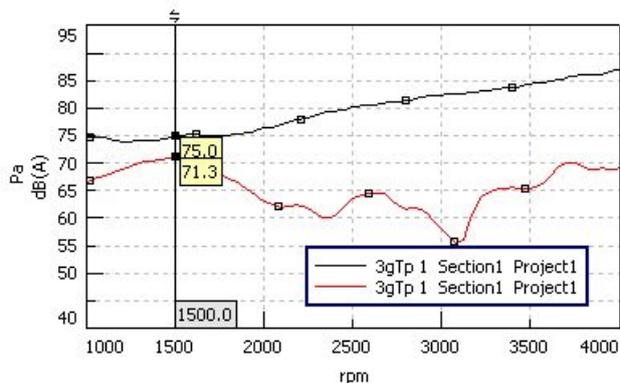


图 2 排气口噪声

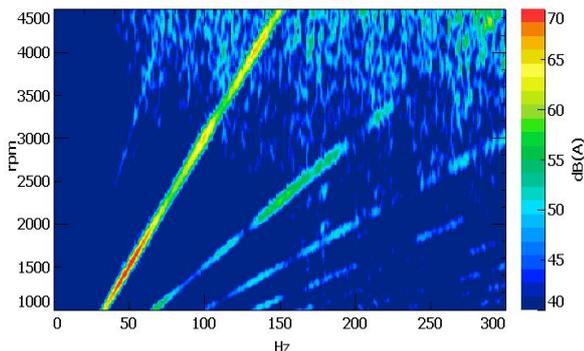


图 3 排气口 color map 图

## 2 仿真模型的建立与校核

### 2.1 发动机仿真模型的建立

GT-Power 软件是基于一维非线性流体动力学模型，以时域方法为理论基础，采用有限体积法计算系统内部气体的动力学问题。将全系统离散为多个体积元，各单元间通过相互交错的网络连接，最终形成管网化的仿真模型，用来对发动机进行模拟<sup>[4]</sup>。

本文研究的消声器匹配的发动机是直列四缸水冷汽油发动机，排量为 1.5L，汽缸直径 75mm，活塞行程 84.7mm，压缩比 9.3，额定功率为 110kw，最大扭矩为 210N·M。依据发动机机型参数表建立详细的发动机仿真模型，包括进气系统、基础机和排气系统，如图 4 所示。为保证燃烧模型等核心参数的准确，我们进行多次验证检查，以保证建立的仿真模型真实反映发动机性能。



图 5 仿真结果与试验结果对比

试验结果与仿真结果对比分析，校核的发动机仿真模型计算出的功率、扭矩、燃油消耗率和空气流量等误差都控制在 4% 范围内，满足仿真分析要求的 5% 误差控制要求。可以作为下一步计算排气系统尾管噪声仿真分析的噪声源。

### 3 尾管噪声仿真分析

#### 3.1 原排气尾管噪声仿真分析

图 6 为原排气系统，主要由热端和冷端两部分组成，冷端包括副消声器、中间管路、主消声器和尾管组成。采用 GEM3D 模块建立详细的排气系统仿真分析模型，并将发动机仿真模型与排气系统仿真模型耦合连接，计算排气系统尾管噪声。图 7 为原排气系统尾管噪声仿真分析结果。

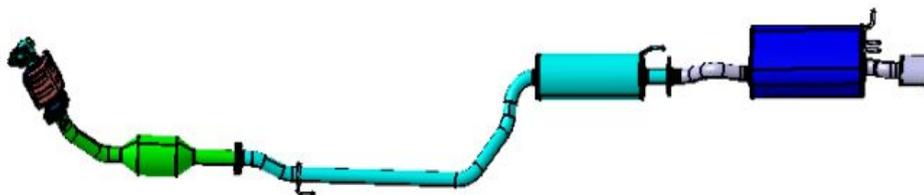


图 6 原排气系统

由图 7 可知，二阶噪声在 1500rpm 附近存在着明显的峰值，二阶数值曲线与总级数值曲线间距非常小。仿真结果与试验结果进行对比，具有良好的一致性，同时验证仿真模型的建立是准确的。因此，针对排气系统产生的问题对消声器优化设计，以提高整车 NVH 性能。

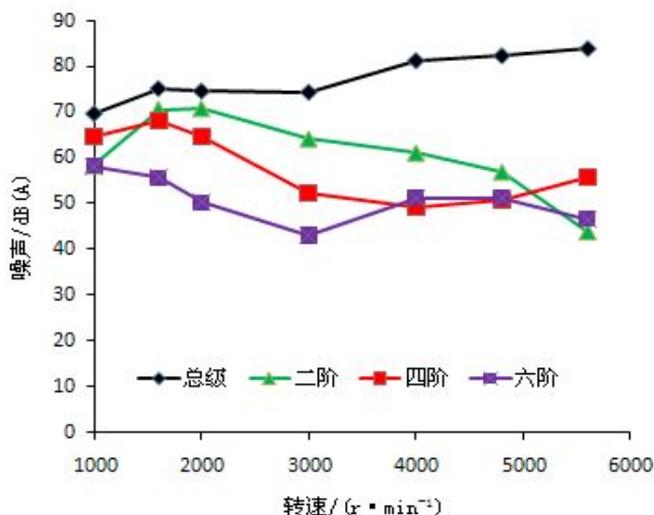


图 7 原排气系统尾管噪声仿真结果

### 3.2 排气系统改进

针对 1500rpm 低频问题需要设计较大谐振腔来消除，由于底盘布置空间限制，主消声器和副消声器均不能再通过增加容积来消除低频问题。所以保持原主副消声器结构不变，单独设计一个 50Hz 低频谐振腔来消除上述问题。改进设计具体空间布置和详细结构如图 8 和图 9。

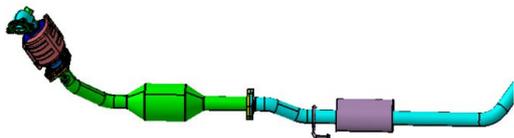


图 8 改进设计谐振器布置

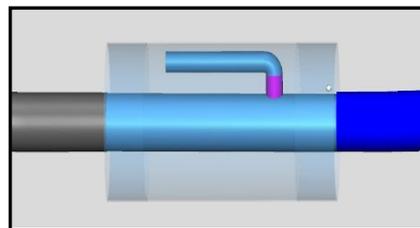


图 9 谐振器详细结构

采用改进方案计算排气系统尾管噪声，计算结果见图 10。由图 10 可以看出，在 1500rpm 附近原二阶数值曲线峰值明显降低，制作样件进行测试，验证改进后消声器实际效果。

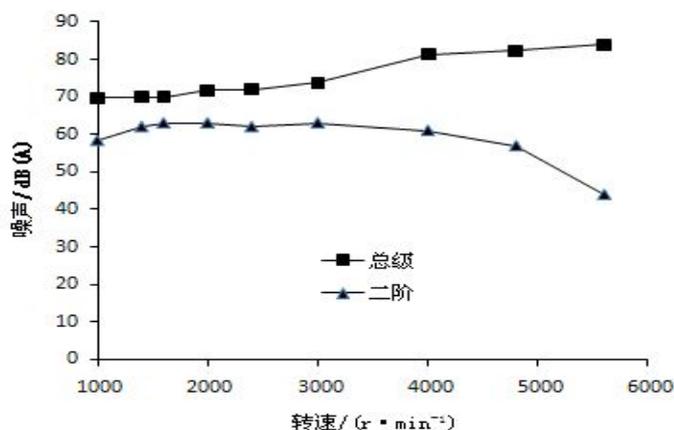
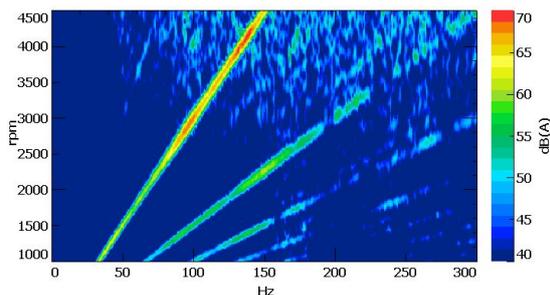


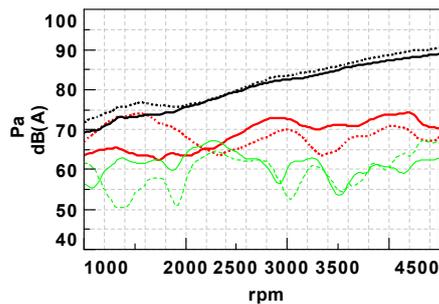
图 10 改进后尾管噪声结果

## 4 试验验证

将改进后排气系统进行样件试制，测试改进后排气系统尾管噪声，测试结果见图 11。图 11(a) 可以看出，在 50Hz 频率附近能力集中情况消声。图 11(b) 为两种状态消声器试验结果对比，对比可知排气口噪声水平明显降低，总级和二阶数值曲线在 1500rpm 附近降低明显。主观评价车内轰鸣声消失，车内声品质得到显著改善。为验证改进后排气系统对发动机性能的影响，将改进后发动机性能与原系统发动机性能进行对比，对比结果见图 12。由图 12 可知，改进后排气系统满足 NVH 性能的同时，对发动机性能几乎无影响。证明改进方案是可行的。



(a)



(b)

图 11 试验结果

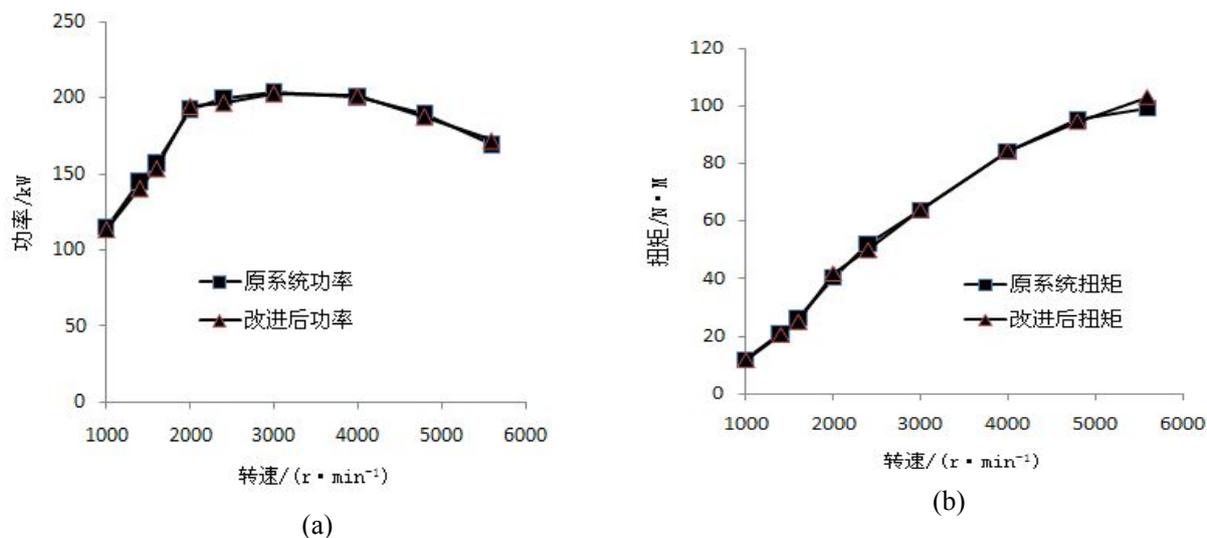


图 12 性能对比结果

## 5 结论

本文针对某新车型 1500rpm 车内后排乘客低频轰鸣声问题，提出解决优化方案。应用 GT-Power 软件将发动机模型和排气系统模型耦合计算，预测排气尾管噪声，指导排气系统消声器设计。仿真分析和试验验证结果表明改进后的排气系统具有良好的噪声水平，有效地消除了车内低频轰鸣声。获得良好的整车 NVH 性能同时，保证发动机性能不变，提高整车市场竞争力。

## 6 参考文献

- [1] 岳贵平. 发动机进排气系统噪声模拟技术研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2007.
- [2] 颜伏伍, 杨伦, 刘志恩, 黄恒. GT-Power 软件的微型车消声器设计与优化. 内燃机工程, 2010. 31(2): 64-67.
- [3] 边杰, 季振林, 刘晨. 消声器结构对排气噪声和发动机性能的影响. 汽车工程, 2011. 33(6): 541-544.
- [4] 赵楠楠. 发动机排气系统优化设计及应用分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.