

基于GT-Power的某车型排气声学性能研究

周帅利, 张鹏飞, 刘健, 马卓, 严才宝, 魏涛, 谢方
(上海天纳克排气系统有限公司, 上海)

摘要: 对某车型的排气尾管声学进行开发, 在前期通过 GT-Power 软件仿真计算, 得出该模型计算效率较低。通过质量流声学模型对原模型进行等效, 计算效率大幅度提高, 并根据此模型进行消声器内部结构优化, 最后通过实验来验证。结果表明: 在低转速区, 仿真和结果比较接近; 在高转速区, 仿真和实验趋势相近。因此在开发前期可以利用 GT-Power 软件对排气系统进行声学评估。

关键词: 排气噪声; GT-Power; 声学优化

Abstract: The development of the exhaust acoustics was carried for a certain model. In the early stage, the simulation calculation was carried out by GT-POWER. The calculation efficiency of the model was low. The original model is equivalent by the flow acoustic model. And the calculation efficiency is greatly improved. According to this model, the internal structure of the muffler is optimized and finally verified by experiments. The results show that the simulation and results are close in the low speed region. In the high speed zone, the simulation and experimental trends are similar. Therefore, the GT-POWER software can be used to evaluate the exhaust system acoustically in the early stage of development.

Key words: Exhaust system noise; GT-Power; Optimization of noise

1 引言

车辆 NVH 性能是消费者购车考虑的主要因素之一, 其中排气系统的声学表现对整车 NVH 性能有重要影响。在排气系统中, 消声器是主要的消声元件, 可以通过设计不同的内部结构来降低排气中常见的低频阶次、驻波、壳体辐射等噪声问题。从而提高车内乘客的听觉舒适性, 尤其在常见的怠速、加减速等工况效果更为明显。

随着仿真计算精度和效率的日益提高, 仿真软件也普遍应用于车辆开发设计中。排气声学中常用的一维声学仿真软件包括 GT-Power 等软件, 此类软件可以在无实验资源的开发前期快速评估尾管声学噪声级。目前国内, 侯献军等使用 GT-Power 软件对某款车型的尾管声学 and 不同消声器插入损失进行了深入分析^[1]。张晋源采用相同一维声学软件并结合 DOE 方法对某消声器进行了传损分析^[2]。孙亚兵利用 GT-Power 研究了某柴油机消音器, 并提出了改进建议^[3]。边杰、季振林等采用一维仿真软件, 得出了不同消音器参数对尾管辐射噪声的影响^[4]。林胜等通过 GT-Power 对某车型的排气阶次轰鸣声进行了优化^[5]。至今, 由于研究人员的不断努力和软件的更新, 仿真对实验结果可预测性越来越高, 但是如何减少计算时间、提高效率依旧是制约仿真发展的一个重要因素。

高效率的前期排气声学开发不仅快速评估现有排气系统结构是否能满足客户要求, 还可以给整车 NVH 提供重要的参考信息。本文以某款车型为研究对象, 运用 GT-Power 仿真软件和 LMS Test 软件对排气尾管噪声进行深入分析。同时采用流量模型等效现有发动机 GT-Power 模型, 加速仿真计算, 提高效率。

2 研究理论

发动机运转时, 气缸内的废气随排气口间歇地开闭而周期性地喷射到气管内, 因此产生的排气噪声为周期性的, 其主要频率成分 f_1 为:

$$f_1 = \frac{2k \cdot n_1}{60e} (\text{Hz}) \quad (1.1)$$

式中: k ——发动机的气缸数;

n_1 ——发动机的转数, r/min ;

e ——发动机的冲程数

汽车发动机排气噪声的强度与发动机的功率、转速、气缸内气体压力大小等因素有关, 并随发动机的转速及负荷的变化而变化。一般发动机排气噪声的总声压级可用下式近似地估算:

$$L_p = 12 \lg N + \lg n_1 - 10.6 \quad (1.2)$$

式中: N ——柴油发动机的功率, kW;

L_p ——总声压级

低频噪声由发动机转速、气缸数及冲程大小等来决定的,中频噪声则是基频的高次谐波延伸造成的,而高频噪声则是由于排气涡流、气缸内燃烧以及机件、管道振动造成的。通常,发动机排气系统包括从声源到尾管出口的全部结构。图 1 表示了包含排气消声器在内的发动机排气系统模型。如果消声器的性能用四端网络传递矩阵表示,则在尚未深入研究发动机声源特性的前提下,常将其作为恒压声源或恒速声源。

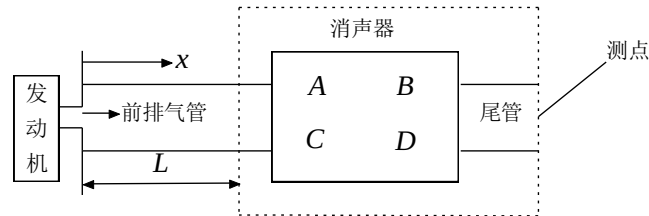
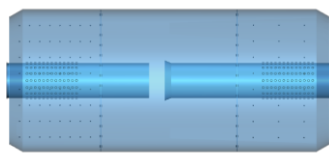


图 1 四端网络等效模型

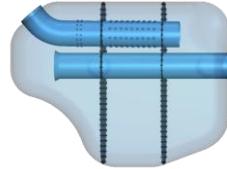
3 数值计算

本文研究车型是一款四缸机,在 GT-Power 软件中,首先根据客户提供发动机模型和热端参数建立初步仿真模型。然后建立排气冷端模型,包括中消、连接管管道、后消、尾管等,同时设置它们的初始条件,壁面温度等参数信息。

背压值是排气系统设计时需要考量的重要参数之一,其反应了发动机功率在经过排气时损失的功率。因此在消声器内部结构设计时必须满足客户的背压要求,冷端要求为 450kg/h、温度 720℃时总压不超过 32KPa。根据该车型的发动机功率和需求,初步设计方案如 2 所示。中消包括进出气管、两块挡板和一定量的玻璃纤维;后消除了包含进出气管和两块打孔的挡板。这两种设计时排气中常见的设计方法,通常情况下可以兼顾背压损失和尾管低频阶次和高频气流噪声需求。在 GEM3D 建立对应的模型,离散后导入 GT-Power 仿真模型中。并根据客户要求,设置对应的麦克风信息,包括距离、计权级等。完整的仿真模型如图 3 所示。



(a) 中消结构



(b) 后消结构

图 2 消声器结构

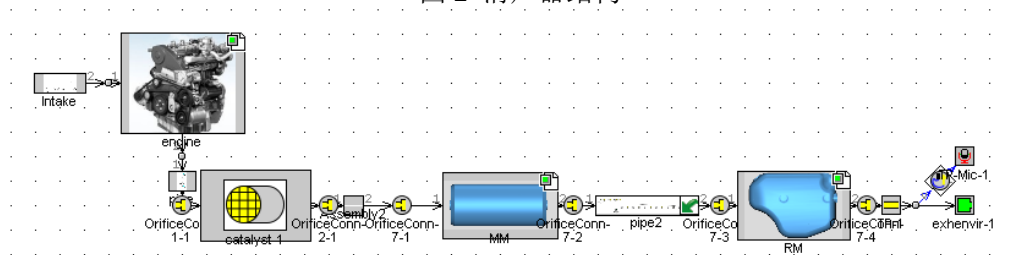


图 3 整车 GT-Power 模型

在声学求解前,在 GT-Power 先求解背压值。计算的在给定流量和温度条件下,背压为 27.2KPa,满足客户目标。接着求解声学,计算时间的长短和计算精度主要取决于客户的发动机模型。该模型求解时间较长,约 8 个小时,后期优化的时间成本较高。根据仿真计算得到冷端之前的管道内流量和温度等信息,重新建立质量流声学模型,如下图 4 所示,重新计算。

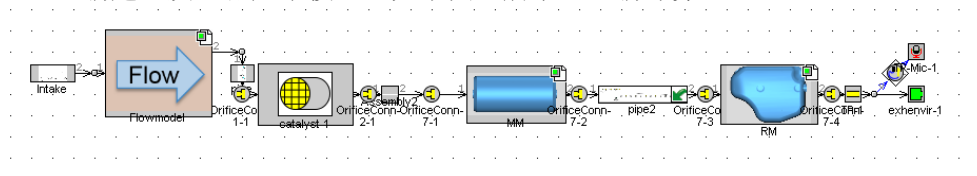


图 4 质量流声学 GT-Power 模型

发动机模型和质量流声学模型结果对比如下图 5。可以看出，在总声压级和阶次声学方面两种仿真方法结果非常接近，同时质量流声学模型计算只需 25 分钟，求解时间大大缩短，提高了排气声学开发效率。

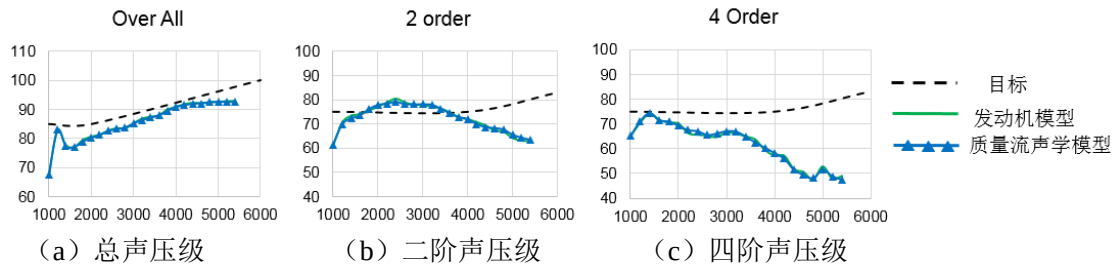


图 5 发动机模型和质量流声学模型仿真对比

该结构在二阶 1800rpm/min 至 3500rpm/min 略高于目标值，不过背压距离目标还有余量。根据相关经验，对后消进行优化，进气管增加了一个堵头，出气管增加了一个弯管和一个高频管。原方案和优化后的方案对比如图 6 所示。



图 6 后消音器结构

重新使用质量流声学模型进行计算，求解后背压值为 30.6KPa，也满足客户要求，得到优化后和原方案的声学结果对比如图 7 所示。可以发现，二阶和四阶声学基本可以满足声学目标。一般情况下，仿真和实测略有偏差，因此将此两方案都制作样件，通过实验来验证。

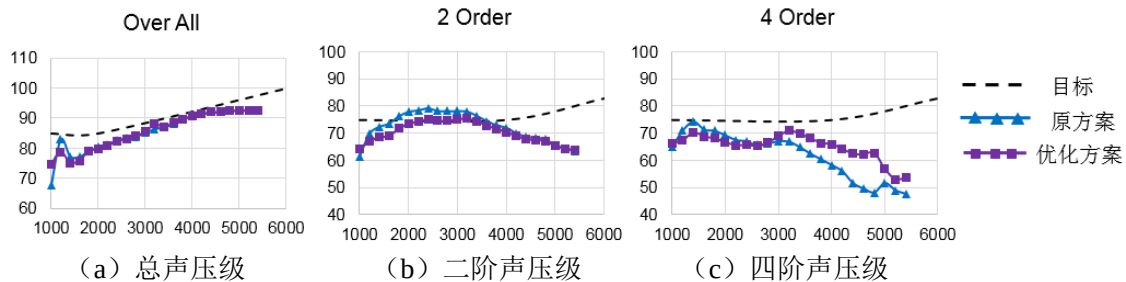


图 7 原方案和优化方案仿真对比

尾管声学实验在转鼓半消音室进行，在对应软件中输入对应的整车整备质量、滑行曲线值。在实验车辆尾管 45° 的 500mm 处布置声学自由场麦克风。同时接入转速信号、冷端背压、冷端进气温度等信号，将各个通道信息进行输入。接着对麦克风灵敏度进行校准，并设置好转速触发信号、需要测量的信息。在开始测试时，需进行热车，用以确保车辆为正常工作状态。接着进行数据记录，开始时多测试几组，等到数据具有较高的一致性时，才可以作为测试结果。最后两方案的实验结果和仿真对比如下图 8 和图 9 所示。可以看出，在低转速区，两方案仿真和实验结果在总声压级和阶次声学都比较接近，具有较高的参考意义，且优化后的方案满足声学目标。在高转速区，仿真总声压级和和实验有些偏差。原因是由于 GT-Power 是基于二维流体力学编写的，无法精确计算由三维流体产生的气流噪声。软件中气流噪声是根据经验公式进行计算的，所以和实验结果有些出入，只做参考使用。两方案的尾管声学彩图如图 10 所示，从图中可清晰看出在低转速区阶次噪声为尾管主要噪声，而在高转速区气流噪声为主。

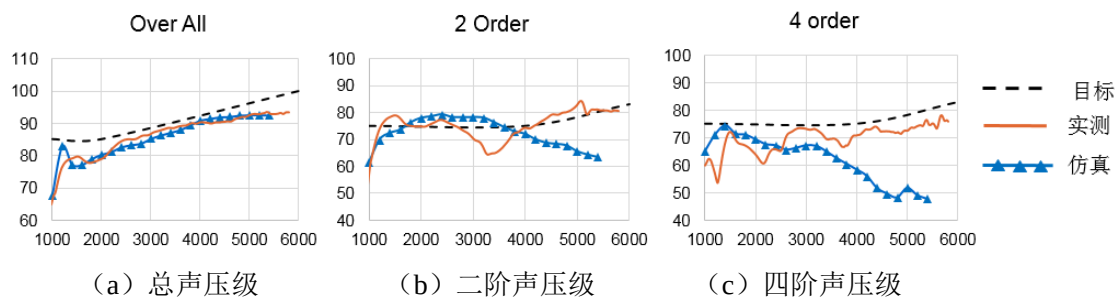


图 8 原方案仿真和实测数据对比

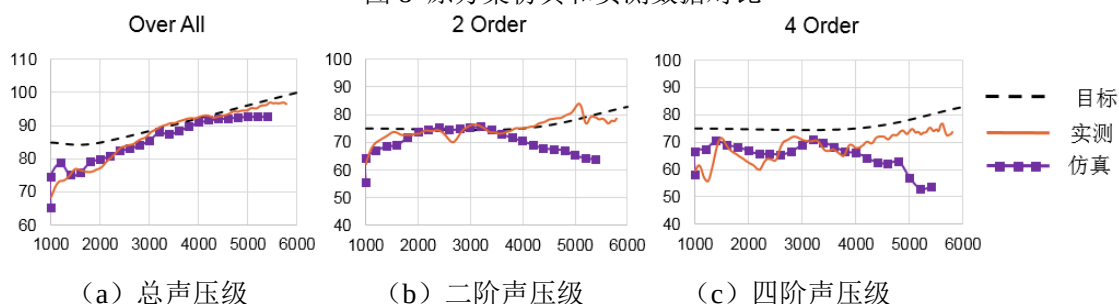


图 9 优化方案仿真和实测数据对比

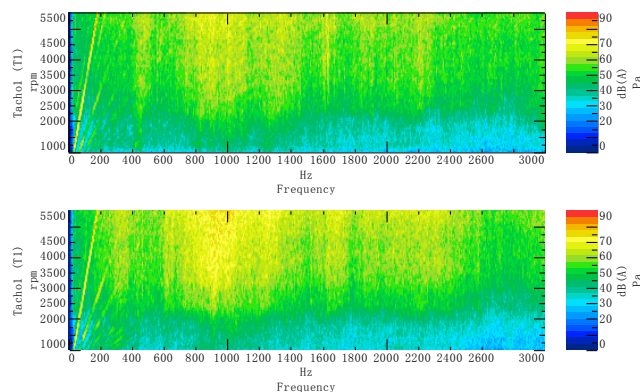


图 10 两方案尾管声学彩图

4 结论:

本文采用 GT-Power 仿真软件和 LMS.TEST 软件对某车型排气系统噪声进行分析。并根据结果对消声器结构进行优化,降低了发动机阶次和气流噪声。得出结论如下:

- (1) 在低转速区, GT-Power 在排气声学仿真上具有较高的精度,可作为前期评判标准。在高转速区,仿真结果趋势和实验接近,但是数值存在偏差。
- (2) 质量流声学模型可以大幅度加快仿真计算,减少求解时间,提高排气开发的效率。
- (3) 需要综合利用仿真和实验各自的优势,才能高效的开发排气声学。

5. 参考文献:

- [1] 侯献军,刘庆等. 基于 GT-Power 的汽车排气消声器性能分析及改进[J]. 汽车技术, 2009,1: 38-40.
- [2] 张晋源. 基于 GT-Power 的汽车排气消声器优化设计[J]. 农业装备与车辆工程, 2017,2:78-81.
- [3] 孙亚兵. 基于GT-Power的2100型柴油机抗性排气消音器设计[D]. 大连理工大学,2012.
- [4] 边杰,季振林等. 消声器结构对排气噪声和发动机性能的影响[J]. 汽车工程, 2010,33: 542-546.
- [5] 林胜,段龙杨等. 基于 GT-Power 优化排气系统阶次轰鸣噪声[J]. 汽车实用技术, 2017,24: 110-115.
- [6] 颜伏伍,杨伦,刘志恩,等.GT-Power 软件的微型车消声器设计与优化[J].内燃机工程, 2010, 31(2):64 -67 刘勇强,左承基,黎幸荣. 发动机排气噪声测量方法的实验研究. 噪声与振动控制, 2011; 31(1): 179—183
- [7] 孟德洋.轿车消声器声学特性仿真分析. [D]. 吉林大学,2007.
- [8] 黄泽好,黄一桃等.某乘用车排气系统设计及改进[J].小型内燃机与摩托车, 2012,6: 62-65.
- [9] 葛蕴珊,张宏波等. 汽车排气消声器的三维声学性能分析[J].小型内燃机与摩托车, 2006,1: 51-55.