

基于 GT-power 的某车进气口噪声优化设计

Optimization Design for car's Inlet Port Noise Based on GT-power

金栋¹² 张冬莲¹² 张硕¹² 匡小红¹² 覃炜¹²

长安汽车工程研究总院

汽车噪声振动和安全技术国家重点实验室, 重庆, 401120

摘要: 本文利用 GT-power 软件对某越野车的进气口噪声进行了仿真分析, 分析结果表明原状态的进气口噪声不满足目标要求。针对此进气口噪声的阶次特点, 本文在空滤器出管上加赫姆霍兹谐振腔及四分之一波长管, 成功降低了该车的进气口噪声。优化结果用于指导快速样件的制作, 节约了成本及缩短了项目开发周期。

Abstract: In this paper, the inlet port noise for a SUV was simulated by GT-power. The results obtained from simulation demonstrate that the noise level of the original inlet port does not satisfy the requirements of objectives. Considering the order characteristics of the inlet port noise, a Helmholtz resonator and a Quarter-wavelength tube is added to the air filter outlet port, which succeed reducing the SUV's inlet port noise. The optimization result is used to direct the production of rapid prototype, which saves cost and shortens the project development cycle.

关键词: 进气口噪声; 谐振腔; 四分之一波长管; GT-Power

Key words: Inlet port noise; Helmholtz resonator; Quarter-wavelength tube; GT-Power

1. 前言

车用进气系统的主要功能除了提供干净空气, 阻止外界杂质和有害成分对发动机的损坏外, 还有一个很重要的功能就是降低噪声。进气系统的噪声是车内噪声的主要噪声源, 同时进气口噪声也是汽车的通过噪声源, 所以进气系统的降噪设计非常重要。本文以某越野车的进气系统为例, 通过在进气出管上加谐振腔、四分之一波长管的方式成功降低了整车的进气口噪声。

2. 消声元件的声学性能评价

2.1 声学特性主要评价指标

评价系统或单个消声元件声学性能的主要指标有: 传声损失、插入损失、声压级差值。

传声损失反应了单个消声元件自身的声学特性,与声源无关,在试验及声学仿真方面都较方便,因此文中评价单个声学元件的声学特性采用传声损失此项指标。本文中针对进气口噪声优化过程中将要采用的消声元件(即亥姆赫兹共振腔及四分之一波长管)的声学性能进行了详细阐述。

2.2 赫姆霍兹消声器的声学特性

赫姆霍兹消声器俗称谐振腔,是旁支型消声器的一种,如图 1 所示。通常它由一个共振腔、进气主管道及连接共振腔与进气主管道的短管组成,此短管俗称喉管。其共振频率及传声损失大小与腔体体积、喉管截面积、喉管长度密切相关,具体见公式 1、公式 2。

S_c 为喉管的截面积, V 为消声器的容积, l_c 为喉管的连接长度, f_r 为中心频率, f 为频率成分, TL 为传声损失。

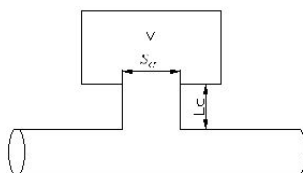


图 1 赫姆霍兹消声器

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S_c}{V l_c}} \quad (1)$$

$$TL = 10 \lg \left[1 + \frac{\left(\frac{\sqrt{S_c V / l_c}}{2 S_m} \right)^2}{\left(\frac{f}{f_r} - \frac{f_r}{f} \right)^2} \right] \quad (2)$$

2.3 四分之一波长管的声学特性

四分之一波长管是安装在主管道上的一个封闭的管子,如图 2 所示。当声波从主管道进入旁支管后,声波被封闭端反射回到主管道,某些频率的声波与主管道中同样频率的声波由于相位相反而相互抵消,从而达到消声目的。四分之一波长管的共振频率与波长管的长度密切相关,具体见公式 3,其传声损失与管道的截面积及管道的长度密切相关,具体见公式 4。

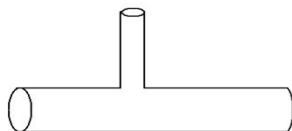


图 2 四分之一波长管示意图

$$f = \frac{(2n-1) \cdot c}{4L} \quad (3)$$

$$TL = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{4} \left(S / S_s \cdot \tan \frac{2\pi L}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (4)$$

式中， S 为主管道的截面积， S_s 为四分之一波长管的截面积， L 为四分之一波长管的长度， λ 为声波的波长。

3. 某车进气口噪声评估

3.1 进气系统参数

图 3 是某越野车进气系统原始设计状态，搭载一款排量为 2.0L 的四缸四冲程发动机。进气系统设计参数如表 1。

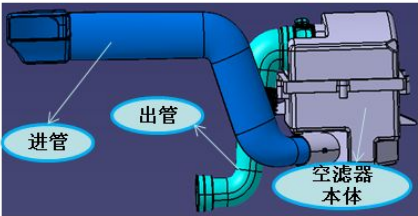


图 3 进气系统示意图

表 1 进气系统参数表

空滤器进管		空滤器出管		空滤器本体	
长度 (mm)	直径 (mm)	长度 (mm)	直径 (mm)	总容积 (L)	滤芯高度 (mm)
851	68 (等效)	486	87	9.5	45

3.2 进气口噪声

运用 GT-Power 软件分析此越野车搭载上述进气系统的进气口噪声，分析得出的进气口辐射噪声及频谱图见图 4、图 5。

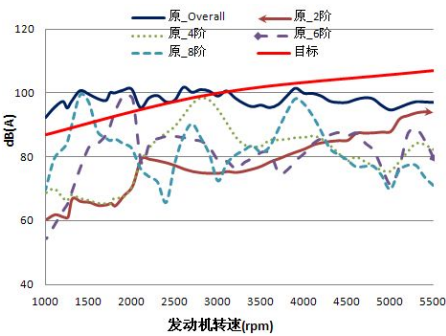


图 4 进气口辐射噪声与目标值对比

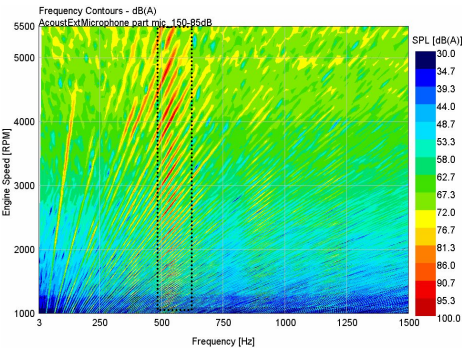


图 5 进气口噪声频谱图

从图 4、图 5 得出：

1) 1000rpm~3000rpm 范围内进气口噪声整体超出目标值，甚至某些转速下超出目标值约 10dB(A)。

2) 1400rpm、1900rpm、2800rpm 附近的峰值噪声主要由 8 阶、6 阶、4 阶噪声贡献，对应频率为 186Hz。

3) 频谱图上 540Hz 附近有明显共振带。

综合考虑此车进气口噪声的特征，分析发现低转速进气口噪声主要由阶次噪声贡献，针对阶次噪声贡献明显此种情况，考虑在进气系统上加谐振腔进行优化；针对中频的共振带考虑加四分之一波长管进行优化。

4 优化方案

4.1 谐振腔声学性能的优化设计

从谐振腔的共振频率公式及传声损失公式得出，谐振腔的共振频率与喉管截面积、喉管长度、谐振腔体积、主管道截面积密切相关，在主管道尺寸参数确定情况下，传声损失与喉管长度成反比，与喉管截面积及腔体体积成正比，且一个共振频率可以对应无穷多组尺寸参数。如何在有限的机舱空间内设计合理的尺寸参数，使其消声量好且成本较低、布置简单显得非常重要。文中针对 186Hz 共振频率及结合机舱布置空间的限制（只能布置 2.5L 以下谐振腔）设计了 5 种尺寸参数的谐振腔，并利用 GT-power 软件计算其传声损失。

表 2 谐振腔设计参数表

序号	共振频率 (Hz)	喉管直径 (mm)	喉管长度 (mm)	谐振腔体积 (L)
1	186	20	40	0.5
2	186	25	22	1.0
3	186	30	18	1.5
4	186	35	15	2.0
5	186	40	13	2.5

从谐振腔的传声损失曲线得出，序号 1 的传声损失明显次于序号 2、序号 3、序号 4 以及序号 5；而序号 4、序号 5 的传声损失的消声量相当，序号 4 的消声带宽略次于序号 5，结合图 4 阶次噪声的峰值覆盖转速范围较窄的特点以及机舱布置的美观性，决定选择序号 4 的方案进行进气口噪声的优化。

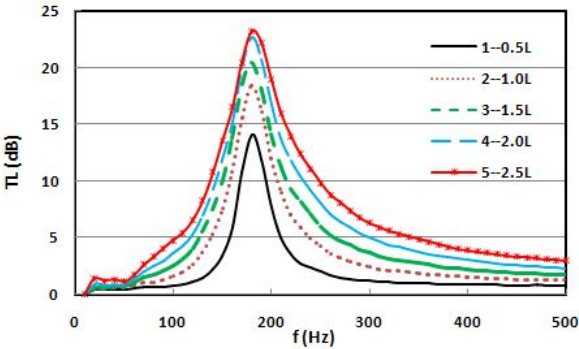


图 6 谐振腔的传声损失曲线对比

4.2 四分之一波长管声学性能的优化设计

从四分之一波长管的频率公式及传声损失公式得出，在主管道尺寸参数一定的情况下，传声损失与波长管截面积成正比，文中设计了 5 种尺寸的四分之一波长管。序号 1 的传声损失较差其消声量不足 10dB，序号 4、序号 5 的传声损失相当，结合主管道直径相对较大的特点本文决定选择序号 5 进行进气口噪声的优化。

表 3 四分之一波长管设计参数表

序号	共振频率 (Hz)	喉管直径 (mm)	喉管长度 (mm)
1	540	15	153
2	540	20	151
3	540	25	148.5
4	540	30	146.5
5	540	35	144.5

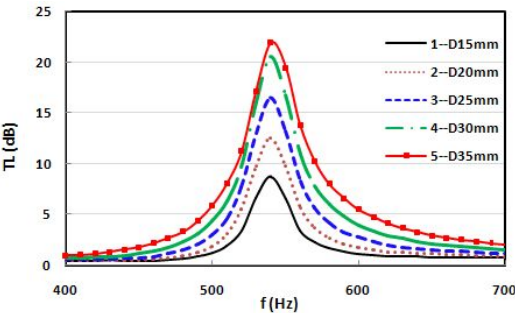


图 6 四分之一波长管的传声损失曲线对比

4.3 优化后的进气口噪声

在原进气系统基础上结合机舱布置形式，在进气出管上加一个 186Hz 谐振腔及一个 540Hz 的四分之一波长管，谐振腔及四分之一波长管的尺寸参数见表 2 中的序号 4 及表 3 中的序号 5。优化后的进气口噪声见图 7，频谱图见图 8。

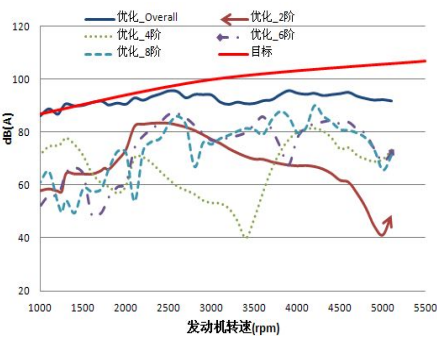


图 7 优化后的进气口辐射噪声

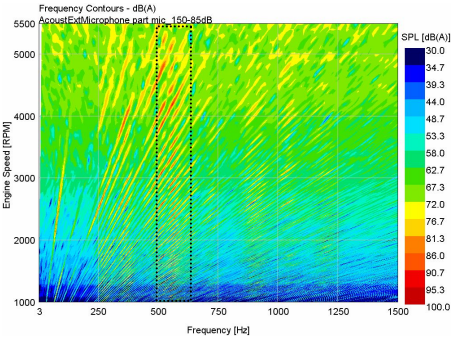


图 8 优化后的进气口噪声频谱图

从图 7、图 8 得出，优化后的进气口噪声无明显峰值且满足目标值要求，且频谱图上的共振带明显减弱。

5. 结论

- 1、当阶次噪声贡献明显时，进气口噪声的优化可以选择加谐振腔、四分之一波长管进行优化。
- 2、在利用谐振腔、四分之一波长管进行进气口噪声优化时，必须对谐振腔、四分之一

波长管的尺寸参数进行优化设计,使其能够有效消声且不过度消声。

3、利用 GT-power 软件进行进气系统的前期声学设计,缩短了项目开发周期及节约了开发成本。

6. 参考文献

- [1] 庞剑, 谌刚, 何华. 汽车噪声与振动-理论与应用 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006. 6
- [2] 岳贵平. 基于 GT-Power 的发动机进气系统声学性能优化设计 [J]. 2011 年 CDAJ-China 中国用户论文集 297-303