

应用 GT-POWER 进行发动机进气系统噪声仿真

Noise Simulation of Engine Intake System

by GT-POWER

张小燕

(长安汽车工程研究院 重庆 401120)

摘要：本文以进气系统的设计为例，介绍了用 GT-POWER 计算进气系统的模拟过程和进气系统的设计方法和过程，验证了几种主要的消声结构对进气系统噪声的影响，说明了 GT-POWER 软件在进气系统开发中发挥的主要作用。

关键词： 进气系统 设计 噪声 GT-POWER

Abstract： the paper introduced the intake system simulation and design by GT-POWER, verified the effect of some anechoic structure and showed the main function of GT-POWER in intake system development.

Key words： Intake system design noise GT-POWER

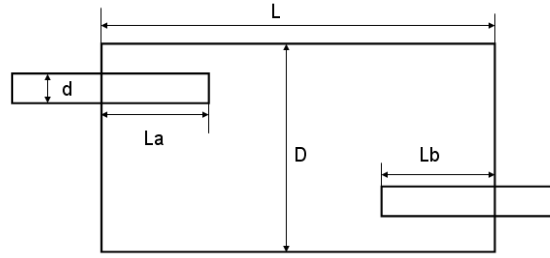
1、前言

发动机的进气系统的主要功能除了为发动机提供充足的，干净的空气外，还要有很好的降噪作用。进气系统是汽车最主要的噪声源之一，进气口的噪声是影响整车通过噪声的一项重要因素，所以进气系统的降噪设计也是非常重要的。进气系统的噪声降低与进气系统的压力损失两者之间是一对矛盾。如果进气管道截面积越大，空气流通就越顺畅，压力损失越小，发动机功率就越大，但同时进气口噪声也就越高。在设计中就必须平衡这对矛盾。本文研究项目是在发动机现有的进气系统基础上进行设计改进，将发动机进气口的噪声控制在目标值之内。

本文应用发动机热力学计算分析软件 GT-POWER 建立发动机热力学和声学分析模型，计算出发动机进气口的噪声总压值。通过不断的增加消声结构，逐步降低进气口的噪声，直到满足控制目标。

2、进气系统消声设计步骤

- 1) 首先不采用任何消声措施，只用一根管道与发动机相连接，分析进气口噪声变化，将结果与目标噪声比较，得到所需要的消声曲线。
- 2) 设计空气滤清器。根据安装空间设计空气滤清器本体。空气滤清器容积应该尽可能的大，这样传递损失大而且覆盖的频带宽。



图一 常用空滤器结构

空滤器的进入管和输出管有时会插入到空滤器中，插入的长度对传递损失有影响，不同的插入长度都能够提高空滤器的传递损失，但插入管会带来较大的功率损失，其功率损失要比减小管道截面积带来的损失还要大。

空滤器的传递损失为：

$$TL = 10 \lg \left[1 + 0.25 \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right)}{\cos\left(\frac{2\pi L_a}{\lambda}\right) \cos\left(\frac{2\pi L_b}{\lambda}\right)} \right) \right] \quad (1)$$

L_a 为进入管在空滤器中的长度； L 为空滤器本体长度；

L_b 为输出管在空滤器中的长度； m 为扩张比。

- 3) 确定空滤器进出管的管径，减小空滤器进、出管管径对降低噪声有好处，但是会增加进气系统的压力损失，降低发动机的进气量，影响发动机的性能。在设计时要权衡两方面的得失。
- 4) 根据增加了空气滤清器之后的进气口噪声来确定需要增加的消声结构。常用的消声结构如下：

A 赫姆霍兹消声器一般是针对低频的，传递损失与消声容积的形状没有关系。

赫姆霍兹消声器的共振频率为：

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

传递损失为：

$$TL = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{\sqrt{S_c V / l_c}}{\frac{2S_m}{f_r} - \frac{f_r}{f}} \right)^2 \right] \quad (3)$$

V 为空滤器容积； L_c 为连接管长度； S_c 为连接管截面积； S_m 为主管道截面积

- B 1/4 波长管一般用来消除高频噪声,如果要用 1/4 波长管消除低频噪声,波长管必须做得很长。

1/4 波长管的共振频率为:

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

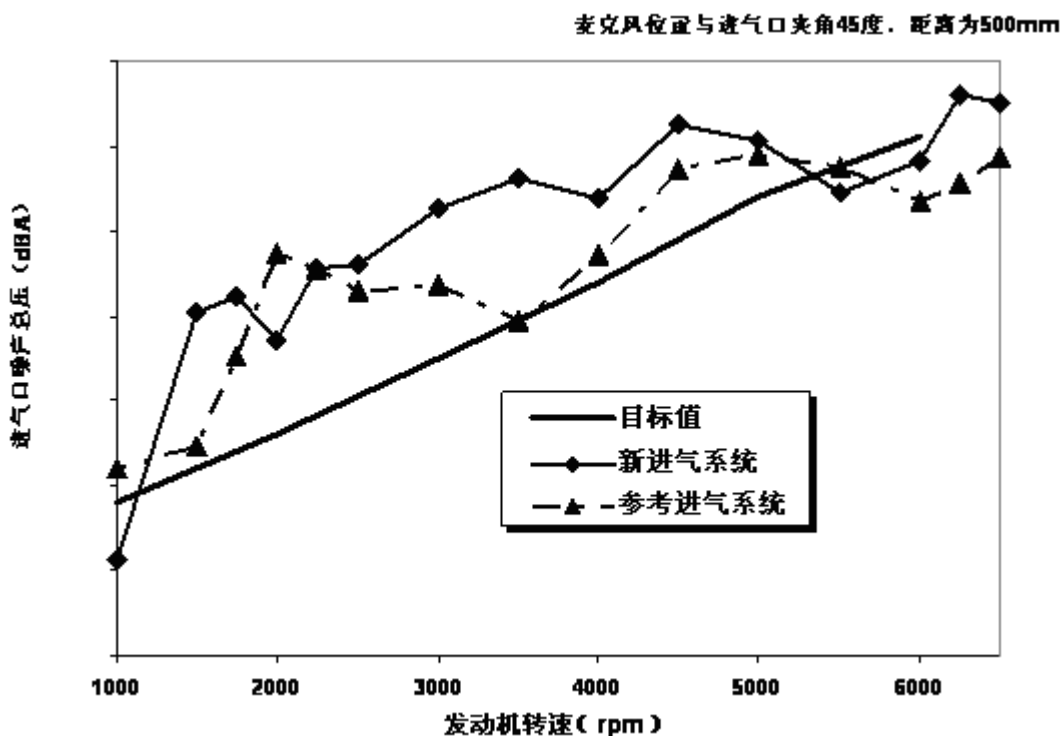
1/4 波长管的传递损失为:

$$TL = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{4} \left(m * \tan \frac{2\pi L}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (5)$$

3、GT-POWER 在进气系统设计应用的实例

GT-POWER 软件能够模拟发动机的气体流动情况,通过建立发动机的模型、进气系统噪声分析模型及设置麦克风信号采集信息,可以得到进气口的噪声总压。将进气口的噪声总压控制在目标值之下,能够很好的降低发动机的进气噪声。

发动机原机的进气系统的空滤器容积为 8.7L,空滤器进管直径为 76mm,出管直径为 68mm,与现在的发动机匹配,由于空间限制进气系统的空滤器容积必须减小。根据现状态的空间尺寸设计空气滤清器本体为 5.8L,空滤器进管直径为 76mm,出管直径为 68mm。首先计算新状态进气系统的进气口噪声水平,结果如图二:



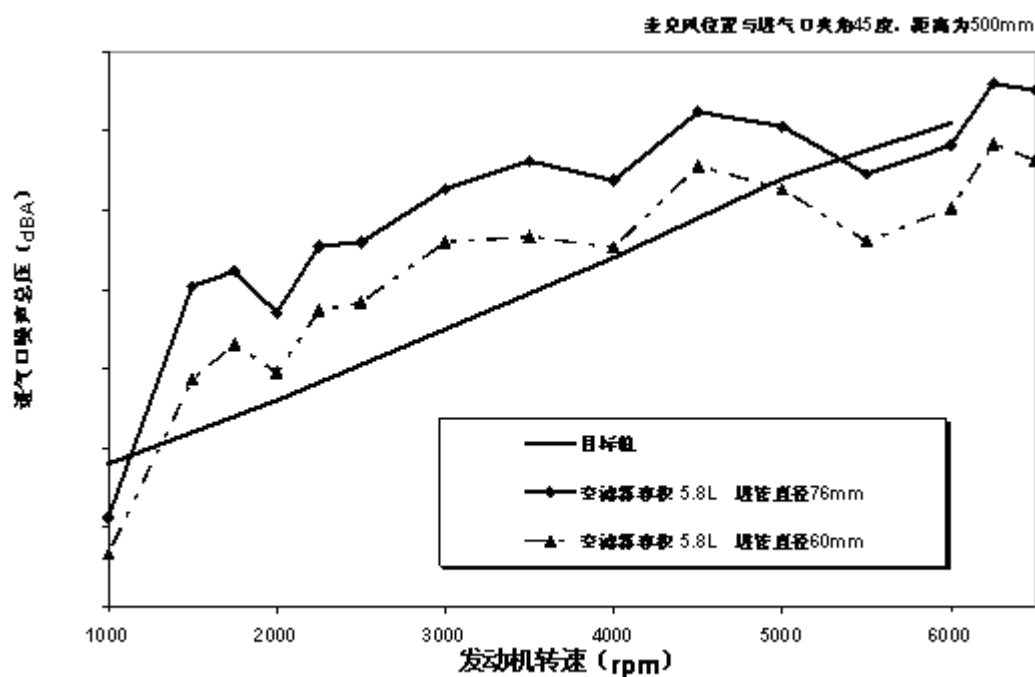
图二 新旧进气系统噪声比较

由计算结果可以看出，新状态的空滤器由于体积减小，导致进气口噪声增加，不能达到控制目标，必须增加其它消声结构，降低进气口噪声。

下面分几步优化新状态进气口的噪声，使其满足控制目标。

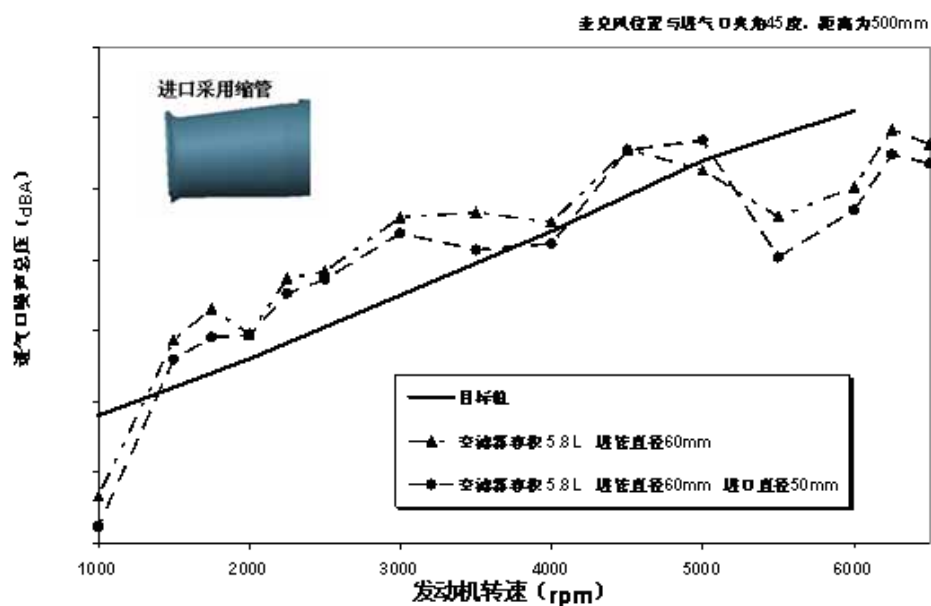
第一步：减小空滤器进管的直径由原来的 76mm 减小为 60mm。减小进管管径，能够提高扩张比，降低进气口噪声。

减小空滤器进管的管径能够有效的降低进气口的噪声，但需要同时关注发动机进气系统的压力损失增加情况，不能因为噪声降低引起发动机功率损失太大。



图三 空滤器进管直径对进气系统噪声比较

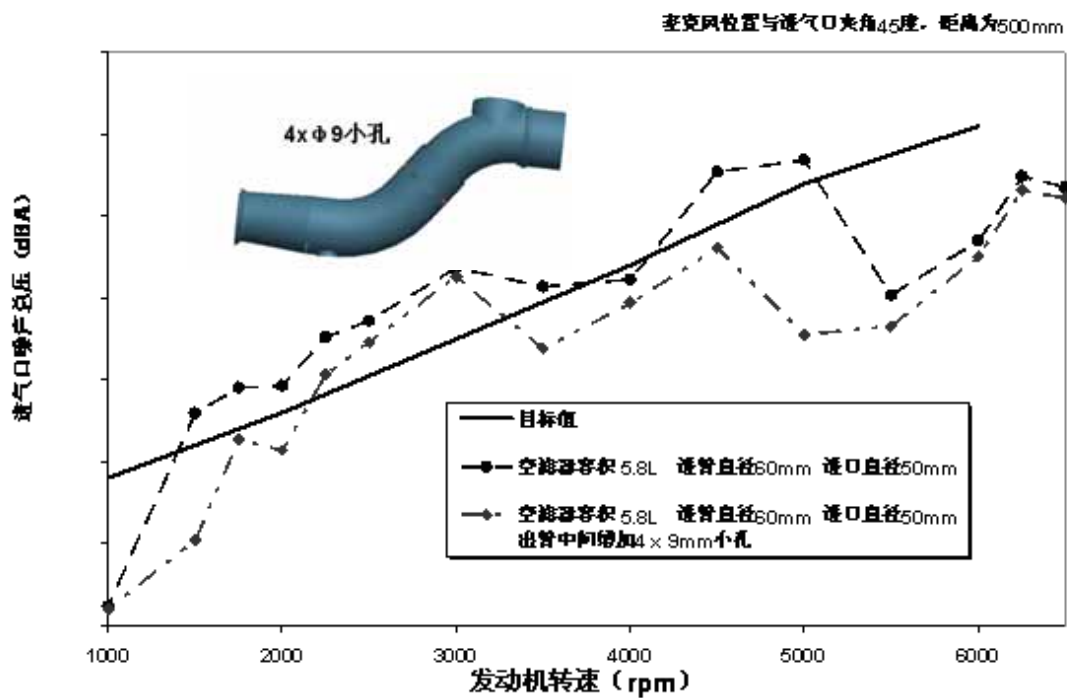
第二步：在第一步的基础上将进管进口部的直径由原来的 60mm 减小为 50mm。



图四 空滤器进管进口直径对进气系统噪声比较

将空滤器进管进口改为缩管的形式，能够适当降低进气口的噪声总压。

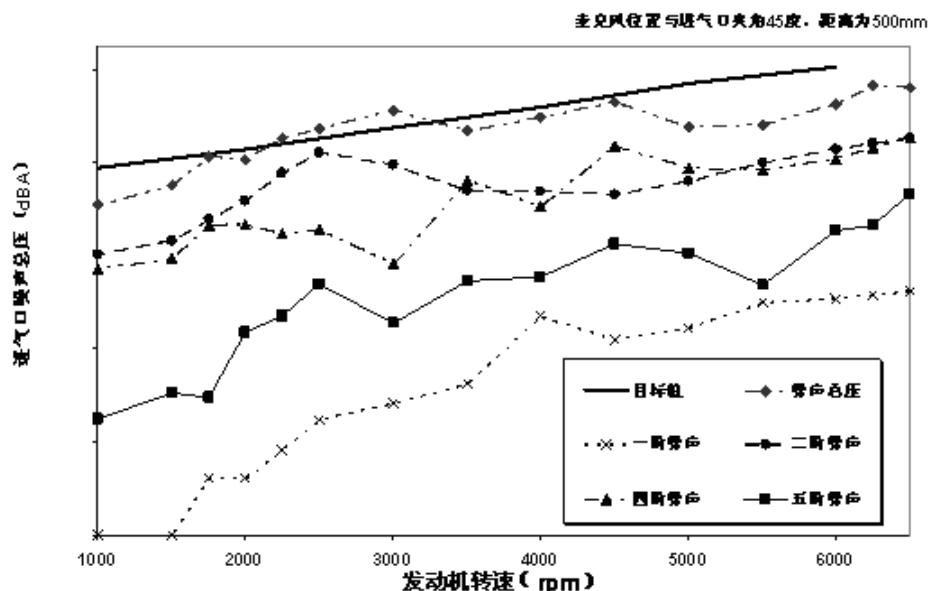
第三步：在空滤器进管的中间增加四个小孔，小孔的作用是用来消除驻波影响的。



图五 空滤器进管小孔对进气系统噪声影响比较

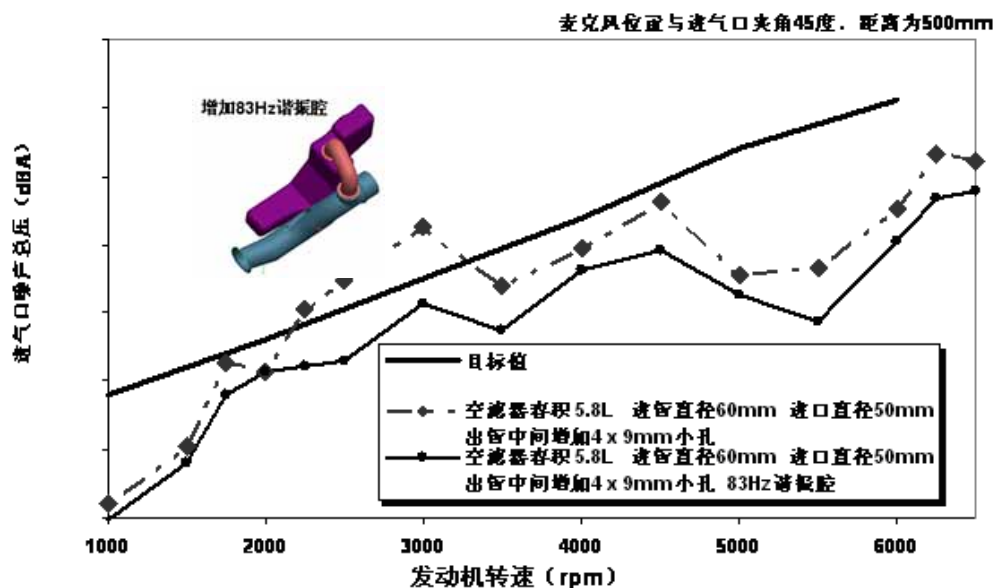
4 个小孔对于降低发动机进气口的噪声在整个发动机转速范围内都有明显的作用。发动机进气口的噪声在 2000rpm-3000rpm 之间的噪声水平仍然高于控制目标。

第四步：第三种状态进气口各阶的噪声如图六所示：



图六 进气口各阶噪声分布曲线

由图六可以看出，影响进气口的噪声主要为二阶噪声。在 2000rpm-3000rpm 之间，主要的噪声为二阶，在 2500rpm 时出现噪声峰值。可以采用增加谐振腔降低 2500rpm 的噪声。2500rpm 的二阶频率为 83Hz，所以建议增加 83Hz 的谐振腔来降低 2000-3000rpm 的噪声。增加 83Hz 谐振腔后的计算结果如图七：



图七 空滤器谐振腔对进气系统噪声影响比较

计算结果表明 83Hz 谐振腔能够有效的降低 2000rpm-3000rpm 的噪声并使整个转速范围内的噪声降低到了控制目标之内。

第五步：验证进气系统对发动机性能降低的影响。一般发动机不带进气系统与带进系统，在额定转速点的功率损失要求低于 5%。经过计算 6000rpm 时，不带进气系统时，发动机的功率为 108.4kW,带进气系统时，发动机的功率为 106.0kW,功率降低为 2.2%，小于 5%，满足设计要求。

经过分步模拟计算，得到与发动机匹配且满足噪声要求的进气系统初步结构和设计尺寸，根据此数据进行进气系统的详细设计。

4、小结

GT-POWER 软件能够预测发动机进气口的噪声，能够对各种降噪结构的降噪效果进行预测，同时能够兼顾分析进气系统改变对发动机性能的影响。GT-POWER 软件能够很好的为发动机进气系统的前期开发提供快速有效的指导。

参考文献

- 1、庞剑 谌刚 何华等 汽车噪声与振动，北京理工大学出版社，2003 年
- 2、何渝生，汽车噪声控制，机械工业出版社，1995 年