

发动机进气系统噪声模拟技术研究

Computational Study on the Noise of Intake Systems of an Engine

岳贵平，刘杨

(一汽技术中心，吉林 长春 130011)

摘要：根据整车噪声试验反映：某一款乘用车的车内噪声水平没有达到目标样车的水平。发动机进气系统噪声是汽车噪声的重要组成部分，发动机进气系统噪声属于周期性噪声，是主要的车内外声场的噪声源，对车内噪声影响尤其明显，这与车身的密封性和进气管口的位置密切相关，如果乘用车车体的声泄露比较严重，发动机进气系统噪声是导致该乘用车的车内噪声水平下降的主要因素。发动机进气系统噪声很复杂，包括许多成份，其中发动机进气系统管口噪声是其最主要部分。基于 GT-Power 软件，通过发动机进气系统管口噪声模拟分析，结合发动机进气系统管口噪声试验结果，找出进气系统消声元件的结构优化措施和手段，为提高乘用车的车内噪声水平提供了依据。

关键词：乘用车；进气系统噪声；消声元件结构优化；GT-Power

Abstract : The noise test shows that one automobile has not gotten the required goals. The noise of intake systems of an engine is the most important noise sources of an automobile, The noise of intake systems is a kind of periodicity noise, it is one of the chief noise sources inside and outside an automobile, it affects interior noise more markedly. It is correlative with sealed property of a body and the position where the intake orifice is. If the noise leak of a body was serious, the noise of intake system will be the most important factor which make interior noise serious. The noise of intake systems of an engine is complicated and includes many parts, in which the orifice noise of intake systems is the chief ones. Applying GT-Power, computing and analyzing the orifice noise of intake systems linking with the result of the orifice noise test, we would find out the measures to optimize the structure of muffler of intake systems, which would reduce the noise inside and outside an automobile.

Key words: Automobile; Intake Systems Noise; Optimize Muffler; GT-Power

0. 前言

汽车行业在过去的几十年中飞速发展，汽车改变了人们的生活，带动了社会生产力的发展，在很多国家，汽车行业已经是支柱产业。随生活水平的提高，人们对舒适性的要求越来越高，同时噪声法规的限值也越来越低。要满足汽车乘坐舒适性和日益严格噪声法规的要求，加强发动机进气系统噪声的控制是一种有效途径。

根据整车噪声试验反映：某一款乘用车的车内噪声水平没有达到目标样车的水平。发动机进气系统噪声是汽车噪声的重要组成部分，发动机进气系统噪声属于周期性噪声，是主要的车内外声场的噪声源，对车内噪声影响尤其明显，这与车身的密封性和进气管口的位置密切相关，如果乘用车车体的声泄露比较严重，发动机进气系统噪声是导致该乘用车的车内噪声水平下降的主要因素。发动机进气系统噪声很复杂，包括许多成份，其中发动机进气系统管口噪声是其最主要部分。基于 GT-Power 软件，通过发动机进气系统管口噪声模拟分析，结合发动机进气系统管口噪声试验结果，找出进气系统消声元件的结构优化措施和手段，为提高乘用车的车内噪声水平提供了依据。

1. 发动机进气系统噪声产生机理

发动机进气噪声是由进气阀周期性开闭而产生的压力波动所形成的。当进气阀开启时，活塞由上止点下行吸气，邻近活塞的气体分子以同样的速度运动，这样在进气管内就会产生压力脉冲，形成脉冲噪声；同时进气过程中的高速气流流过进气阀流通截面时，会形成涡流噪声，其主要频率成分在 1000 ~ 2000Hz 范围内；另外，如果进气管中空气柱的固有频率与周期性进气噪声的主要频率一致时，会产生空气柱共鸣，使得进气管中的噪声更加突出。当进气阀关闭时，也会引起发动机进气管道中空气压力和速度的波动，这种波动由气门处以压缩波和稀疏波的形式沿管道向远方传播，并在管道开口端和关闭的气阀之间产生多次反射，产生波动噪声^[1]。

2. 发动机进气系统管口噪声声学模型

2.1 空滤器的设计

进气系统的核心消声元件就是空滤器，本文涉及三种不同的空滤器，它们分别为：参考空滤器、新方案一空滤器和新方案二空滤器。

1. 参考空滤器的容积为3.5升，由三个部件组成：上盖、下盖、滤芯，其进入管和输出管没有插入到空滤器之中；
2. 新方案一空滤器的容积为4.7升，也由三个部件组成：上盖、下盖、滤芯。与参考空滤器三维几何模型相比，新方案一空滤器上盖容积增大了1.2升，别的部件保持不变；
3. 新方案二空滤器的容积为 4.7 升，也由三个部件组成：上盖、下盖、滤芯。与新方案一空滤器三维几何模型相比，新方案二空滤器的进入管和输出管会插入到空滤器的最大截面处，别的部件保持不变。

2.2 发动机进气系统管口噪声声学模型

将发动机 GT-POWER 模型和进气系统 GT-POWER 模型对接，并在距进气管口 10 厘米的地方布置麦克（麦克的法向与进气管口轴向的夹角为 45 度），组装成为能够进行进气系统管口噪声计算模拟的声学模型^{[2]-[5]}。通过匹配不同的空滤器，可得到三个发动机进气系统声学模型。

由于三个发动机进气系统声学模型组成类似，这里仅给出一种声学模型

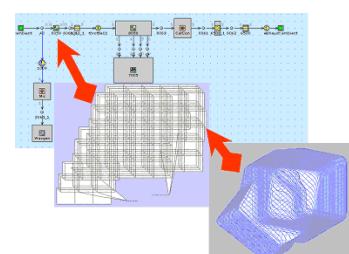


图 1 声学模型示意图

示意图，如图 1 所示。

3. 进气系统噪声计算结果及分析

3.1 进气系统管口噪声计算结果核对

为了核对发动机进气系统管口噪声计算结果，完成了匹配参考空滤器进气系统的管口噪声试验和相应的计算模拟，结果如图 2 和图 3 所示。通过对比试验和计算阶次分析的结果，可知：

- 在发动机转速低于 4000r/min 的工况，试验和计算的结果吻合的很好；在转速高于 4000r/min 的工况，试验的结果

在数值上要偏大，这是由于试验的噪声结果包含周期性噪声和高速气流产生的摩擦噪声两部分，而计算结果只包含周期性噪声；

- 对于 2 阶次噪声在总声压级中所占的比例，试验结果偏高，这是由于试验数据处理时的阶次带宽为 0.5，除二阶成分外，还含有 1.75 阶和 2.25 阶成分的噪声，而计算结果只包括 2 阶噪声。

综上所述，利用 GT-POWER 软件进行发动机进气系统管口噪声计算模拟分析，该方法切实可行，计算结果可信。

3.2 进气系统管口噪声计算结果及分析

利用 GT-POWER 软件，分别对匹配有不同新设计空滤器的进气系统管口噪声进行计算模拟，获得不同转速下管口噪声的声压级和进气系统的背压等。下面分别对其结果进行分析：

1. 三种方案的进气系统背压比较

消声器的匹配首先要保证发动机性能。空滤器也是一种消声器，将空滤器加入进气系统，会导致发动机进气系统的背压增大，发动机输出功率下降。图 4 为进气系统背压比较图，与参考方案进气系统的背压相比，新方案一大约增加了 0.13KPa，新方案二大约增加了 0.26KPa，增幅都不明显，因此，两种空滤器的新设计方案都能保证发动机性能。

2. 三种方案的进气系统管口噪声比较

空滤器的功能有两个：过滤空气和消除噪声。衡量一种空滤器优劣，必须考虑其消除进气管口的噪声的能力，图 5 为进气系统管口噪声比较图，通过比较三种方案的管口噪声总声压级，可知：

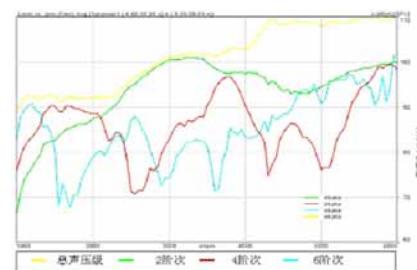


图 2 阶次分析(参考方案 - 试验)

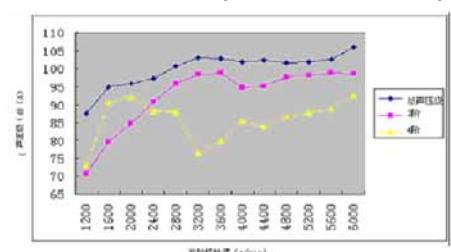


图 3 阶次分析(参考方案 - 计算)

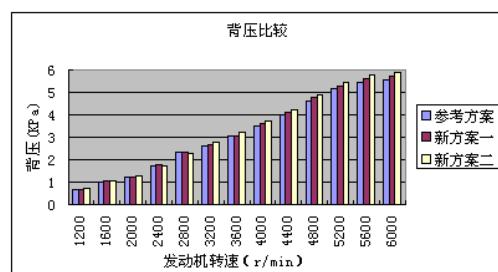


图 4 进气系统背压比较

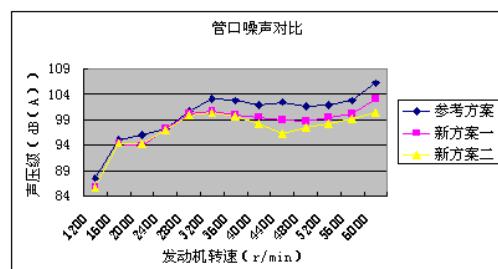


图 5 进气系统管口噪声比较

与参考方案进气系统的管口噪声相比，新方案一大约降低了 3.0dB(A)，新方案二大约降低了 4.5dB(A)，降幅都明显。

4. 最优方案的选择

由三种方案的进气系统的背压比较结果可知，两种新设计方案的进气系统的背压增幅都不明显，都能保证发动机性能；由三种方案的进气系统管口噪声比较结果可知，新方案二空滤器降低了大约 4.5dB(A)，降幅最大，因此，新方案二作为最优方案，可以进行试制，最终由发动机进气系统管口噪声试验来校对。

4. 进气系统噪声试验及结果

为了校对发动机进气系统管口噪声计算模拟结果，分别对匹配参考方案空滤器和新方案二空滤器进气系统的乘用车进行发动机进气系统管口噪声试验。

4.1 进气系统管口噪声试验工况与分析方法

发动机进气系统管口噪声试验在整车半消声室内进行，汽车置于底盘测功机上，变速器置于 3 挡，发动机稳定在最低转速后，突然油门全开，进行全负荷加速行驶直至发动机转速升高到 6000r/min。记录各个通道噪声信号和发动机转速信号，然后对所测量的信号，进行总声压级对转速分析。试验分析仪器为 Head Acoustics 公司的测量分析系统和 B&K 公司的麦克风。测量麦克风布置在距离进气系统管口为 10 厘米，并与管口轴线成 45 度角，如图 6 所示。

4.2 进气系统管口噪声试验结果

发动机进气系统管口噪声试验结果如图 7 所示，图 7 中的绿线为参考方案进气系统管口噪声总声级随转速变化，蓝线为新方案二进气系统管口噪声总声级随转速变化。从图中可清楚的看出，除了在发动机转速为 2300r/min 时，进气系统管口噪声没有明显变化外，在其它转速下，进气系统管口噪声明显下降，该试验结果与图 5 进气系统管口噪声计算结果基本吻合，进一步验证了新方案二空滤器设计的合理性和可行性。



图 6 进气系统管口噪声测量位置

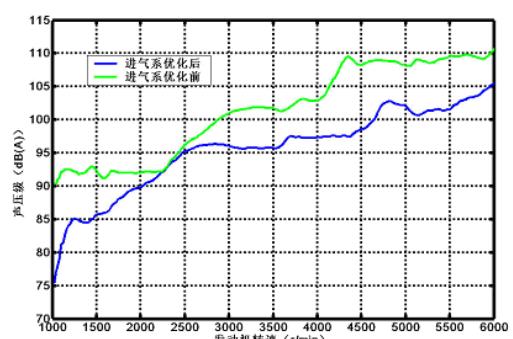


图 7 进气系统管口噪声比较

5. 结论

最优方案发动机进气系统的背压增幅较小，可以保证发动机的性能；最优方案发动机进气系统的管口噪声降幅较大，得到了降低进排气系统管口噪声的目的，并且进排气系统管口噪声的计算结果还得到进排气系统管口噪声的试验结果验证。最优方案降低了该发动机进排气系统噪声，最终使该款乘用车车内噪声水平达到目标样车的水平。因此，最优方案的空滤器的优化设计是合理的、可行的。

通过发动机进气系统噪声模拟技术研究，建立了发动机进气系统管口噪声计算分析流程，搭建了发动机进气系统噪声模拟平台，该技术填补了一汽技术中心的空白。由于一汽技术中心已经具备了发动机进气系统噪声试验平台，发动机进气系统噪声模拟和试验真正形成了互为补充、相互促进的关系，一汽技术中心的发动机进气系统噪声业务又有了长足的进步。发动机进气系统噪声模拟技术已经成为解决乘用车噪声问题的有效手段，并且可以大大降低乘用车的研发费用。

5 参考文献

- [1] 庞剑，谌刚，何华.汽车噪声与振动[M].北京：北京理工大学出版社，2006
- [2] 钟绍华，金国栋，谢田峰.基于 GT-Power 软件的内燃机消声器设计与分析方法[J]. 汽车技术，2003 (7): 7-10
- [3] 贾维新，郝志勇.空滤器声学性能预测及低频噪声控制的研究[J].内燃机工程，2006(5):67-70
- [4] Stephen Massey & Paul S. Modelly Exhaust Systems Using One-Dimensional Methods [J]. SAE 2002-01-0005
- [5] Benzhu Liu & Masahiro Maeno . A Study of a Dual Mode Muffler [J].SAE 2003-01-1647