

摩托车排气净化消声器性能分析

黄泽好 杨超 黄一桃 吴晓宇

重庆理工大学汽车零部件制造及检测技术教育部重点实验室,重庆,400054

摘要:研究了催化器结构对消声器性能的影响,在催化器内加入细插入管建立新催化器模型来模拟催化器的内噪声传递及损失,分析并对比了安装与未安装催化器的消声器的噪声传递损失,运用GT-Power软件建立摩托车发动机工作过程与带催化器的消声器的耦合仿真模型,得到消声器在发动机各转速下的插入损失和压力损失。分析结果显示,消声器在中低频段消声效果较好,在中高频段消声效果较差。根据仿真和试验结果对消声器结构进行改进,改进后的消声器在发动机各转速下消声效果得到改善,插入损失增加3~5dB,仿真结果与试验结果吻合良好。

关键词:消声器;传递损失;插入损失;压力损失;结构改进

中图分类号:TK413.47

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2013.01.022

Performance Analysis of Motorcycle Muffler with Catalyst

Huang Zehao Yang Chao Huang Yitao Wu Xiaoyu

Key Laboratory of Manufacture and Test Techniques for Automobile Parts, Ministry of Education,
Chongqing University of Technology, Chongqing, 400054

Abstract: The effect of catalytic converter structure on exhaust muffler was firstly researched. Sound transmits and loss were simulated by the establishment of new catalytic converter model which was full of inserted ducts, and transmission loss of the muffler and muffler with catalytic converter were analyzed and compared. Coupling simulation model of a motorcycle engine's working process and muffler with catalyst was established by GT-Power software, insertion loss and pressure loss of the exhaust muffler were obtained at different engine speeds. It is found that the muffling ability in middle and low-frequency is good, and in middle and high-frequency is bad. According to the calculation results, improvements on muffler structure are conducted. The simulation results show that the performance of the muffler at each speed of the engine is improved, and the insertion loss increases 3~5dB, the simulation results and the test results of this model tally well, and this design preferably meets the exhaust muffler performance requirements.

Key words: muffler; transmission loss; insertion loss; pressure loss; structure improvement

0 引言

随着摩托车产量和保有量的增加,摩托车排放和噪声污染已经不容忽视,摩托车排放标准和噪声标准也变得日益严格,尤其是为达到国内摩托车第三阶段排放标准,催化转化器已经成为了摩托车的标准配置。根据摩托车的结构特点,催化器需要和消声器结合成为一体,成为摩托车排气净化消声器。为了保证加装催化器后的消声器的声学性能及摩托车动力性能不受影响,分析研究摩托车排气净化消声器的性能十分重要^[1-3]。

计算机软件仿真技术的发展及其在工程中的广泛运用^[4],使得正确预测复杂消声器的声学性能并从理论上指导消声器设计成为可能^[5]。利用计算机仿真技术对消声器性能进行仿真模拟,避免了重复繁琐的工程试验,缩短了产品的研发周

期,进而降低了开发成本^[6]。本文分析某款摩托车的排气净化消声器的性能及其对动力系统性能的影响,并通过消声器结构进行改进达到满足动力系统性能要求的目的。

1 催化器结构对消声器传递损失的影响

1.1 原型消声器模型

GT-Muffler是GT-SUIT下的一个专门建立消声器的模块,通过该模块能够非常方便地设计、改进结构比较简单的消声器。图1所示为某摩托车排气净化消声器的几何模型。通过去掉连接管道、消声器外防护罩简化模型,在GT-Muffler中建立原型消声器模型,如图2所示,再将模型以.dat格式导入GT-Power中生成消声器的离散化模型。

1.2 加装催化器的消声器模型

该款摩托车为达到国3排放要求采用了如下技术:精调化油器+电控补气+一级催化剂。其

收稿日期:2011-10-27

基金项目:重庆市教委科研基金资助项目(KJ090610)

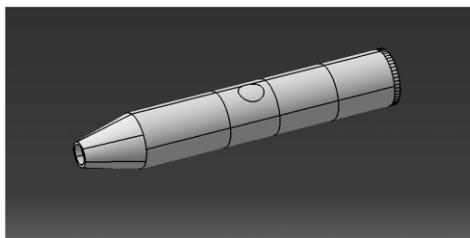


图 1 消声器几何模型

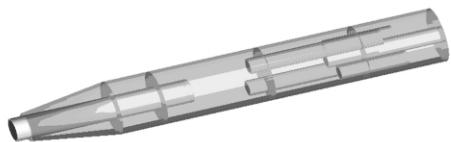


图 2 消声器 GT 模型

中催化器载体为金属蜂窝载体,满足国3排放标准,孔密度200目,规格 $\phi 50\text{mm} \times 80\text{mm}$ 。为简化模型,可以用简单等效细插入管来模拟催化器内气流的通道,插入管直径设置为5mm,管壁厚度设置为0.4mm,根据催化器直径的大小均匀分布插入管的位置。建好的加装催化器的消声器模型如图3所示,最后生成离散化模型。

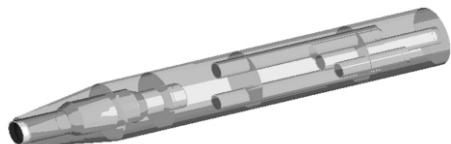


图 3 加装催化器的消声器 GT 模型

1.3 传递损失计算结果对比与分析

在离散化模型中加入传感器、麦克风等声学测量模块,建立消声器传递损失计算模型如图4所示。图4中麦克风为噪声源,噪声通过前连接管在消声器中降噪,再通过后连接管传出。前后传感器测试结果做差即为消声器的传递损失。计算结果如图5所示。

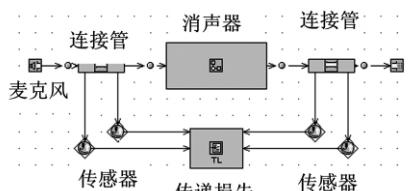
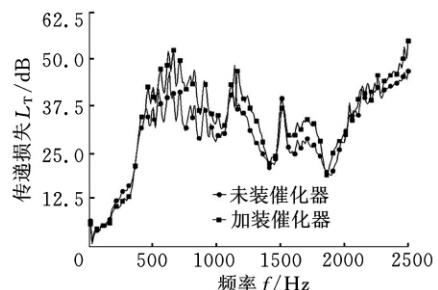


图 4 传递损失计算模型

由图5可看出,加装催化器后消声器传递损失在500Hz频率以下没有明显变化,500~1900Hz频率段的传递损失较原型消声器有所提高,最高增加12dB。

2 基于排气净化消声器的动力系统模型建立

消声器性能评价指标主要包括消声性能和空

图 5 原型消声器与加装催化器
消声器传递损失对比

气动力性能。消声器消声性能通常用传递损失(transmission loss, TL)和插入损失(insertion loss, IL)来评价。插入损失较传递损失更能模拟排气系统的真实消声状况,容易测试,在实际工程中得到广泛应用。消声器空气动力性主要是指消声器压力损失。对于消声器消声性能和空气动力性能,本文分别采用插入损失 L_I 和压力损失 Δp 进行评价^[7-9]。

2.1 发动机模型的建立

GT-Power中的一维流体假设的动力学模型几乎包含了发动机所有关键工况的细节模型,能够较完整地模拟发动机不同工况的性能变化。整个系统被划分为许多小的控制单元体,单元体上又划分了许多相匀交错的网格。不同形状的气体通道都可转化为功能相当的标准管件,形成发动机管网化模型。这些单元体存储于模板库,当建立发动机模型时,只需把相应的单元体调到建模区域连接起来即可形成发动机计算模型,用以对发动机进行仿真^[6,10]。

根据某摩托车发动机具体参数(表1)建立该发动机工作过程仿真模型,如图6所示。该模型模拟了空气从大气经过进气管在进气道内与燃油混合后经进气门进入气缸内燃烧,直至废气从排气系统经催化器、消声器排入大气中的整个过程。通过多次调整计算参数,使得计算结果和试验数据基本吻合。

表 1 发动机参数

发动机排量(mL)	124.4
活塞直径(mm)	56.5
压缩比	9.2:1
最大功率(kW)	7.2
最大转速(r/min)	9000
最大扭矩(N·m)	8.7
最大转矩转速(r/min)	7000

2.2 消声器计算模型的建立

在GT-Power中将加装催化器的消声器离散化模型与发动机的工作过程模型进行耦合,并加入声压传感器、麦克风等声学测量模块,建立图

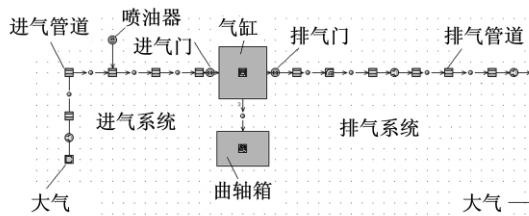
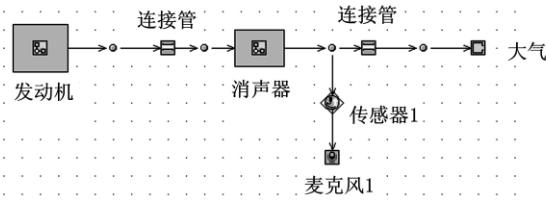
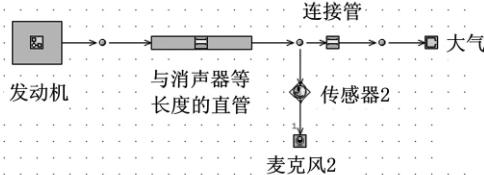


图6 发动机GT仿真模型

7和图8所示的消声器插入损失、压力损失计算模型,在发动机不同转速下对消声器性能进行分析。图7a所示模型用以计算消声器排气噪声值,图7b所示模型用以计算用等长度直管代替消声器后的排气噪声值,两者之差即为插入损失。图8中两个压力传感器分别测量消声器两端连接管排气管压力,并将消声器两端之间的压力信号传递到累加器中求差,此差即为消声器压力损失,数值存储于变量存储器中^[4]。



(a)消声器排气噪声值计算模型



(b)等长度直管排气噪声值计算模型

图7 插入损失计算模型

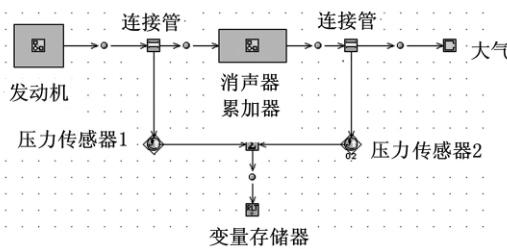


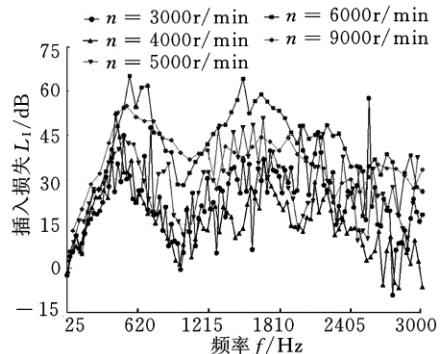
图8 压力损失计算模型

3 计算结果分析及试验验证

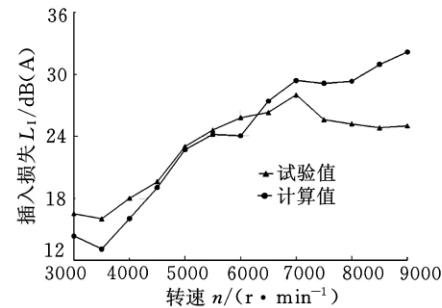
3.1 插入损失

根据所建立的消声器与发动机耦合模型对消声器插入损失和压力损失进行仿真,并对加装催化器的消声器样品种进行试验。选取摩托车发动机常用转速3000~6000r/min和最高转速9000r/min进行分析,结果如图9所示。其中,图9a所示为基于频谱的插入损失计算结果;图

9b所示为等长度直管排气噪声和消声器排气噪声声压级差即消声器插入损失计算结果。



(a)基于频谱的插入损失计算结果



(b)A计权声插入损失计算与实测结果

图9 插入损失计算与实测结果

由图9a可看到, n 分别为 3000r/min、4000r/min、5000r/min、6000r/min 和 9000r/min 的工况下^[11-12], 在 0~600Hz 频段范围内随着频率的上升, 消声器插入损失逐渐增大, 最高达 66dB, 而频率大于 600Hz 时插入损失急剧下降, 在 600~1200Hz 和 1800~2500Hz 频段范围内插入损失较低。可以看出消声器在中高频消声效果不佳, 特别是在发动机 3000r/min 和 4000r/min 时插入损失在 2400~3000Hz 频段中出现负值, 这主要是由于 3000r/min 和 4000r/min 时发动机产生高频噪声少以及不同速度排气流在排气管和消声器腔室内与管壁摩擦、冲击产生的激励噪声没有被消声器吸收造成的^[13-14]。

从图9b可以看出, 随着发动机转速的升高, 消声器 A 计权声插入损失上升, 消声器整体消声量逐渐提高, 计算值和试验值在 7000r/min 以下吻合较好, 之后随转速的提高插入损失实测值逐渐减小。

3.2 压力损失

压力损失是评价消声器性能的重要指标, 过大的排气背压会造成发动机功率损失。根据图8对消声器压力损失进行仿真并与实测值比较, 如图10所示。

可以看出, 压力损失随发动机转速的增大而

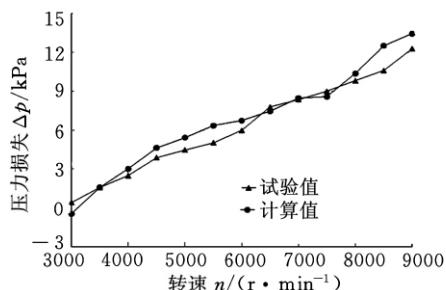


图 10 压力损失计算与实测结果

增大,原因是随着发动机转速的增大,排气速度也相应增大,而压力损失与排气速度的平方成正比^[15-16]。计算值和实测值基本吻合。

4 结构改进分析

从上述结果分析可知,消声器在低频段消声效果理想,中高频段较差,这可以通过增加扩张腔和采用阻抗复合方法进行改进:

(1)一腔插入管尾管口封闭,插入管穿孔,穿孔率为 16%,孔径为 3.5mm,这样相当于增大了扩张腔的扩张比,排气气流和噪声从小孔进入一腔,从而增大了消声量。

(2)在三腔中增加隔板,整个消声器由原来的三腔变为四腔,增加中频段的消声量。

(3)考虑到消声器在高频段消声效果差,而随着发动机转速的提高,噪声频率会向高频移动,所以对高频段降噪提出改进措施。连接二腔和四腔的连接管穿孔,穿孔率 20%,孔径 3.0mm,并在穿孔管外铺设吸声材料,增加消声器在高频段的消声量^[4,11]。

结构改后的消声器模型如图 11 所示。

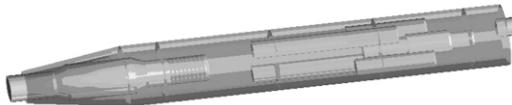
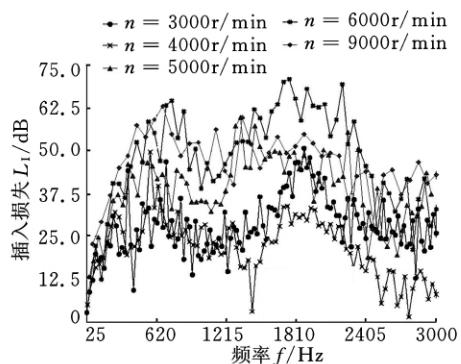


图 11 结构改进后的消声器 GT 模型

再对改进后的消声器与发动机进行耦合分析,插入损失和压力损失计算结果与实测结果如图 12、图 13 所示,并与改进前进行对比。

由图 12a 可以看出,经过改进的排气净化消声器在中高频段消声量增大,而各低频段消声量几乎没有变化。结合 A 计权声插入损失(图 12b)可以看出,随着发动机转速的提高,消声器插入损失仿真值逐渐增大,实测值在 3000~7000r/min 范围内随转速的提高逐渐增大,在 7000~9000r/min 范围内随转速的提高平缓下降,且改进后较改进前插入损失提高 3~5dB,最大提高了 6dB。由于增加了穿孔管和扩张腔,



(a) 改进后基于频谱的消声器插入损失

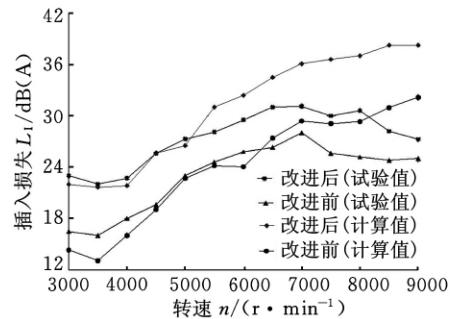
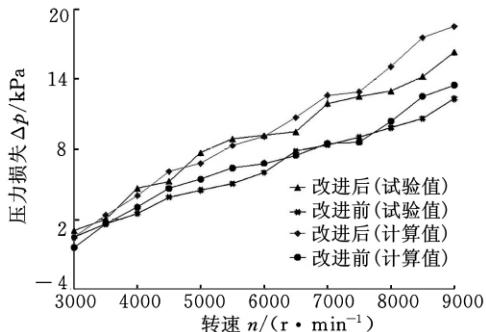
(b) 改进前后 A 计权插入损失计算与测试结果对比
图 12 消声器改进前后插入损失计算、实测结果对比

图 13 消声器压力损失改进前后计算、实测结果对比

气流流动阻力增加,由图 13 可看出,改进后消声器压力损失较改进前增加 2~4kPa。排气背压增大导致发动机功率损失增加,图 14 为发动机功率损失改进前后结果对比图,经计算,改进后功率损失由 2.36% 增加为 2.92%,差值较小可以不计,且改进前和改进后发动机功率损失都小于国家合

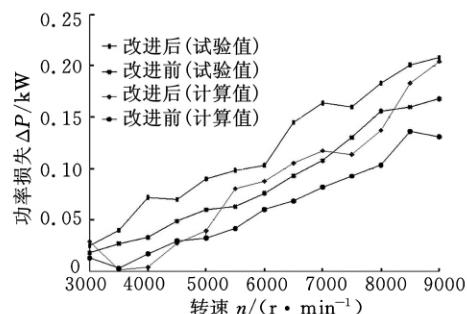


图 14 改进前后发动机功率损失计算、实测结果对比

格标准5%的规定,综合比较,改进后的消声器性能能满足要求。

5 结论

(1)应用等效细插入管模拟三元催化器金属载体,建立了发动机和排气净化消声器的耦合计算模型,经反复调试参数,计算结果与试验值基本吻合。

(2)运用GT-Power软件对排气净化消声器进行分析,发现消声器在中高频段消声效果较差。

(3)改进后消声器在发动机常用转速3000~6000r/min范围内消声量增加3~5dB,最高增加6dB,压力损失增加2~4kPa,发动机功率损失增大0.76%。

(4)GT-Power软件能够很好地指导消声器的设计和优化,缩短产品开发的周期,节约设计成本。

参考文献:

- [1] 黄泽好,张浩亮,孙章栋,等.某摩托车排气消声器声学性能分析[J].重庆理工大学学报,2010,24(12):11-14.
Huang Zehao, Zhang Haoliang, Sun Zhang-dong. Acoustics Performance Analysis of Motorcyle Exhaust Muffler[J]. Journal of Chongqing University of Technology, 2010, 24(12):11-14.
- [2] 林伟,鲁川江.执行国三排放标准,助推产品质量提升[C]//摩托车产品降低排放与提升质量经验介绍暨优秀论文集.重庆,2010:75-87.
- [3] Munjal M. Analysis and Design of Pod Silencers[J]. Journal of Sound and Vibration, 2003, 262:497-507.
- [4] 侯献军,刘庆,刘志恩.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.
Hou Xianjun, Liu Qing, Liu Zhien. Performance Analysis and Improvement of Automotive Exhaust Muffler Based on GT-Power [J]. Automobile Technology, 2009(1):38-40.
- [5] Panigrahi S N, Munjal M L. A Generalized Scheme for Analysis of Multifarious Commercially Used Mufflers [J]. Applied Acoustics, 2007, 68(6):660-681.
- [6] 谢田峰,金国栋,钟绍华.GT-Power在内燃机排气消声器设计中的运用[J].内燃机,2003(1):12-14.
Xie Tianfeng, Jin Guodong, Zhong Shaohua. Application of GT-Power in Design of Exhaust Muffler for Internal Combustion Engine[J]. Internal Combustion Engines, 2003(1):12-14.
- [7] 马大猷.噪声与振动控制工程手册[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [8] Gerges S, Jordan R, Thiemf F. Muffler Modeling by Transfer Matrix Method and Experimental Verification[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2005, 27(2):132-140.
- [9] Wu C J. Transmission Loss Prediction on a Single-inlet and Double-outlet Cylindrical Expansion Chamber Muffler by Using the Modal Meshing Approach[J]. Applied Acoustics, 2008, 69(2):173-178.
- [10] Gamma Technology. GT-Power Tutorial Version 6.1 [EB/OL]. (2004-08-10) [2010-09-21]. <http://www.docin.com/p-34247261.html>.
- [11] 张云飞.摩托车排气进化消声器设计方法的研究[D].武汉:武汉理工大学,2009.
- [12] Zhang Sifa, Hao Peng, Xia Heng, et al. Dynamic Comprehensive Performance of Mufflers under Different Vehicle Running Conditions [C]//SAE 2010 World Congress, Detroit, April 13-15, 2010. Detroit: SAE, 2010-01-0901.
- [13] Kim J K, Ih J G. Simple Estimation of High-frequency Radiation from a Muffler Shell[J]. International Journal of Automotive Technology, 2010, 11(2):263-268.
- [14] 邓兆祥,赵海军,赵世举,等.穿孔管消声单元气流再生噪声产生机理[J].内燃机学报,2009,27(5):452-457.
Deng Zhaoxiang, Zhao Haijun, Zhao Shiju, et al. Producing Mechanism of Flow Noise Generation from Perforated Duct Muffler Element[J]. Transactions of CSICE, 2009, 27(5):452-457.
- [15] 李以农,路明,郑蕾,等.汽车排气消声器内部流场及温度场的数值计算[J].重庆大学学报,2008,31(10):1094-1097.
Li Yinong, Lu Ming, Zheng Lei, et al. Numerical Simulation of The Flow and Temperature Fields in an Automotive Exhaust Muffler [J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(10):1094-1097.
- [16] Denia F D, Selamet A, Fuenmayor F J, et al. Acoustic Attenuation Performance of Perforated Dissipative Mufflers with Empty Inlet/Outlet Extensions[J]. Journal of Sound and Vibration, 2007, 302(4/5):1000-1017.

(编辑 苏卫国)

作者简介:黄泽好,男,1966年生。重庆理工大学汽车学院研究员级高级工程师、硕士研究生导师。主要研究方向为车辆测试技术。发表论文30余篇。杨超,男,1986年生。重庆理工大学汽车学院硕士研究生。黄一桃,男,1987年生。重庆理工大学汽车学院硕士研究生。吴晓宇,女,1988年生。重庆理工大学汽车学院硕士研究生。