文章编号：1006-1355(2017)04-0214-04

摩托车单缸平衡轴汽油机怠速撞击声音的改善

王尚礼，刘小林，姚强伟，刘天胜，赵 鑫，谭红梅
（中国嘉陵工业股份有限公司（集团）技术中心，重庆 402760）

摘 要：以摩托车单缸汽油机为研究对象，用声压传感器在发动机右侧测试，热机状态的声音比冷机的大了1.8 dB(A)、3.8 sone，较大声压在工作周期频率(12.5 Hz)的1～9阶，用转速表测试发动机的转速变化，热机转速最大变化率比冷机增大了12.8 %。将声音与燃烧、温度和转速变化等因素综合分析和试验表明：化油器状态对应配气相位不能适应空燃比0.97～1.03，平衡轴对应的曲柄转动惯量不足，曲轴正偏置使点火角提前，进排气相位提前是声音大的主要原因。采用提前排气开、推迟进气和增大气门间隙来减小气门叠开角，设计新结构曲柄增大转动惯量，推迟点火角减小冲击等措施。结果表明：调整机的声音最大降低了2.2 dB(A)、4.1 sone，最大转速变化率减小了10.2 %，主观对比评价感受：调整机的声音优于原型机。

关键词：声学；汽油机；撞击声音；怠速；曲轴转速变化；频谱分析；声压；响度；方法
中图分类号：TK411^{+}.6 **文献标识码**：A **DOI编码**：10.3969/j.issn.1006-1355.2017.04.043

Improvement of the Knock Sound Quality in Idle Performance for a Motorcycle's Single-cylinder Gasoline Engine with a Balance Shaft

WANG Shang-li , LIU Xiao-lin , YAO Qiang-wei ,
LIU Tian-sheng , ZHAO Xin , TAN Hong-mei
(Technical Center of China Jialing Industrial Co. Ltd., (Group), Chongqing 402760, China)

Abstract : The motorcycle's single-cylinder gasoline engine with a balance shaft was studied. The sound on the right side of the engine was tested by sound pressure sensors. The results show that the sound of the hot engine was 1.8 dB(A)/4.2 sone larger than that of the cold engine, and the larger sound pressure was distributed in 1st-9th orders of the engine function frequency (12.5 Hz). The speed variation of the engine was tested by tachometers. The results show that the maximum variation rate of crank rotation speed of the hot engine was 12.8 % larger than that of the cold engine. Synthetic analysis of the sound and its influencing factors, such as combustion, temperature and rotation speed variation of the crank, and the corresponding test show that distribution phase of the carburetor engine does not fit the EFI engine, moment of inertia of the crank shaft is insufficient, ignition angle, intake opening angle and exhaust closing angle are advanced due to the positive offset crankshaft. Of them the advance of the intake and exhaust phases is the main reason of the large noise. Then, some measures, such as advancing the exhaust opening angle, delaying the exhaust closing angle, delaying intaking angle. increasing the valve clearance to reduce valve overlap, using new type crank which has large moment of inertia, delaying the ignition angle to reduce the shock and so on, were employed. The results show that the maximum reduction of the sound pressure of the engine reaches 2.2 dB (A), the maximum reduction of loudness reaches 4.1 sone, and the maximum crank rotation speed variation is reduced by 10.2 %. According to the subjective evaluation, the sound quality is greatly improved.

Key words : acoustics; gasoline engine; knock sound; idle; crank rotate variation; spectrum analysis; sound pressure; loudness; method

发动机噪声已成为中高档摩托车选购的主要因素，其中怠速工况的声音是重要因素。声音是产品设计制造管理水平和质量的综合体现，所以改善发动机声音至关重要，为此国内外开展了大量研究工作[1-3]。

中国嘉陵工业股份有限公司开发了一款动力强劲、油耗低、振动小的中高档大排量摩托车，因右侧怠速撞击声音大，导致用户抱怨，严重影响了产品销

收稿日期：2016-12-13
作者简介：王尚礼(1982－)，男，西安市人，硕士，高级工程师，研究方向为摩托车发动机的减振降噪、可靠性及曲柄连杆机构的设计优化等。
E-mail: wslmail-01@163.com

量，迫切需要改进。公司组织专家进行多轮攻关，与国内天津大学、重庆大学、武汉理工大学等多家科研机构合作，取得一定效果，但还没有达到高端产品的品质要求。

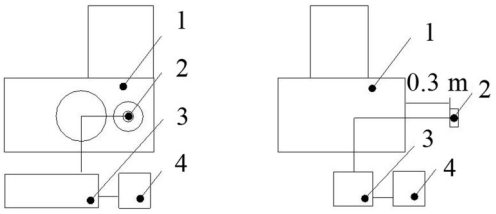
舒歌群、郝志勇等开展了柴油机的降噪、汽车声音测试和评价等研究[4-7]，但摩托车汽油机的工质、点燃和冷却方式与柴油机不同，且裸露在外面与人较近，声音难控制。国内较少研究摩托车单缸大排量风冷汽油机噪声。

在有关专家研究成果的基础上，笔者通过调查、分析和试验，找到了原因，制定了措施，改善了发动机的声音，成功实现了批量生产。

1　研究对象、测试设备及方法

研究对象为单缸四冲程汽油机，其为立式、风冷+油冷、单轴平衡、电喷，排量为223 mL，行程×缸径为66.27 mm×65.5 mm，曲轴正偏置为3.2 mm，怠速为1 500 r/min，采用铝合金箱体，钢齿轮。

在背景噪声小于60 dB(A)的空旷地带，用Gras声压传感器在距发动机右箱盖0.3 m处测量声压，结果如图1所示。



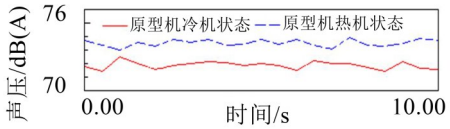
1 发动机　2 声压传感器　3 数字采集设备　4 电脑

图1 测试示意图

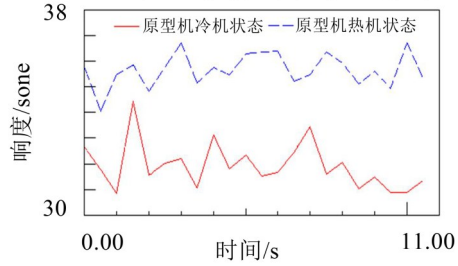
采用LMS SCR05数采前端，参考文献[4－8]，用LMS. Test. Lab 9A软件处理数据，分析频谱特性、声压级A计权和响度。用日本小野SE-1200转速表测量发动机的转速变化，每间隔6 s记录转速的最大值和最小值。

2　声音问题描述

（1）热机状态下（机油温度117 ℃时）声音变大，不平稳；热机比冷机声音增大1.8 dB(A)、3.8 sone，如图2所示。热机状态的最大转速变化率比冷机增大12.8 %，如图3所示。



（a） 冷、热机状态声压级A计权对比



（b） 冷、热机状态响度对比

图2 声音测试指标对比

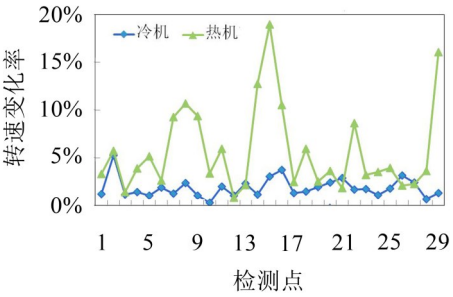


图3 原型机冷机、热机状态转速变化率

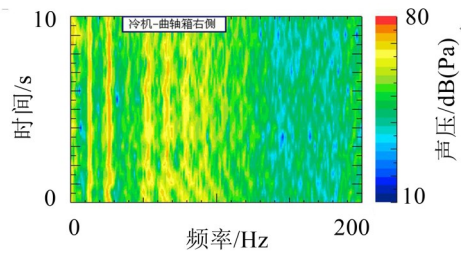
（2）发现较大声压与发动机的工作周期有关，如图4所示。较大声音出现在低频，排除了爆燃的可能性。热机大于75 Hz频率的声压值明显大于冷机。

3　分析与试验

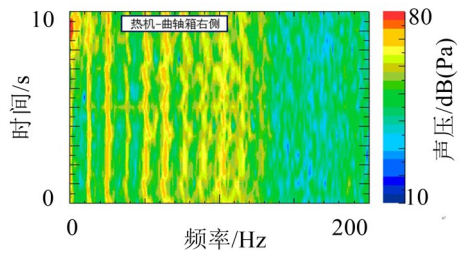
1）与发动机右侧声音有关的零件有初级齿轮副和平衡轴齿轮副。取掉初级齿轮副和平衡轴部件，声音明显减小。取掉平衡轴，声音明显减小；取掉初级齿轮副，声音明显减小。这表明声音与两者有关。

2) 对于热机后声音变大现象的分析与试验

(1) 热机后，进气充量减小，残余废气系数增大，影响燃烧[9]，噪声增大，电喷空燃比从0.75～0.85变



（a）原型机冷机状态（工作周期频率为12.5 Hz）



（b）原型机热机状态（工作周期频率为12.5 Hz）

图4 原型机冷机、热机状态的噪声频谱

为0.97～1.03，声音变大和不平稳；

(2) 假设 V 不变，PV/T 为常量，冷机温度 T_1 为293 K，热机缸体温度 T_2 为379 K，可知 $P_2=P_1\times T_2/T_1=1.29\ P_1$，热机后，发动机阻力变大，由于进气充量的减小和散热损失，热机的压力小于1.29 P_1。热机的电启动缸压值比冷机高17 %，间接表明热机后阻力变大。热机时，取消电磁阻力，声音减小，表明应减小阻力。

3）与转速变化有关的是燃烧、转动惯量、阻力。

(1) 热机后，空燃比从0.75～0.85变为0.97～1.03，影响燃烧，影响噪声。

(2) 与基础机型相比，此机型曲柄及转子的转动惯量减小了10.3 %，转动惯量不足易造成发动机转速波动大，使驱动件与被动件产生冲击和噪声[10]。增大转动惯量后，转速波动减小，声音平稳，但声音仍较大，表明还有其他原因。

(3) 与基础机型相比，此机型增加了平衡轴及齿轮副，增大了阻力。取掉平衡轴，声音明显减小。

4）与发动机工作周期有关的有燃烧、活塞敲缸、齿轮撞击。

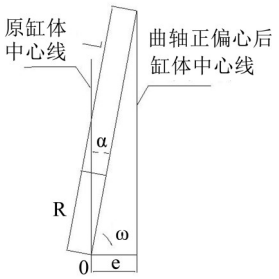


图5 曲轴正偏置后上至点对应的角度变化示意图

与基础机型相比，此机型曲轴正偏置为3.2 mm，曲柄半径为33.1 mm，连杆长度为110 mm，从图5可知，$\alpha=a\sin(e/(R+L))$，活塞上至点对应的曲轴转角推后1.3°，点火提前1.3 °，排气关和进气开相位提前1.3°，导致残余废气系数增大，燃烧不稳定，加之压缩比增大了0.2，燃烧粗暴，增大活塞敲缸音和齿轮冲击，应推迟点火角和调整配气相位。

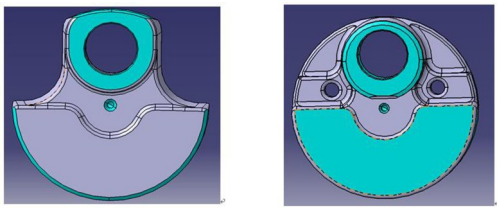
5）较大声音发生在低频段，这与文献[11]中的齿轮撞击噪声频谱曲线相似。应考虑如何减小齿轮撞击音。

4 措施

根据分析和试验情况，采取以下措施：

（1）排气相位开提前7 °，排气关推迟2 °，进气相位推迟2 °，增大气门间隙0.02，增大排气量和减小气门叠开角，以减小残余废气系数。

（2）在空间受限、不改变箱体结构的前提下，设计新结构曲柄，使其比原结构转动惯量增加10.1 %，如图6(b)所示。增加转动惯量可提高运转平稳性。



(a) 原结构曲柄 (b) 新结构曲柄

图6 调整前后的曲柄

(3) 推迟点火角2 °，减小冲击。

5 结果分析与讨论

(1) 测试结果与分析

由图7可知，与原型机相比，调整机的声音最大下降了2.2 dB(A)、4.1 sone，响度的改善值比声压级A计权大。

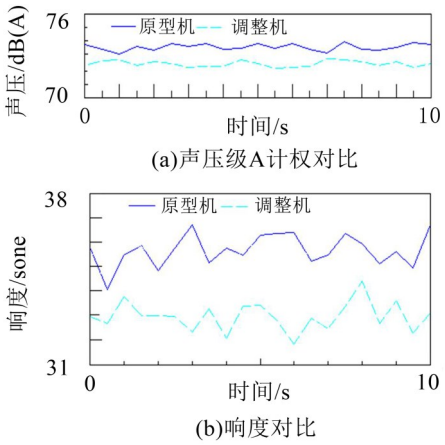


图7 声音测试指标对比(热机状态)

从图8可知，最大转速变化率减小10.2 %。

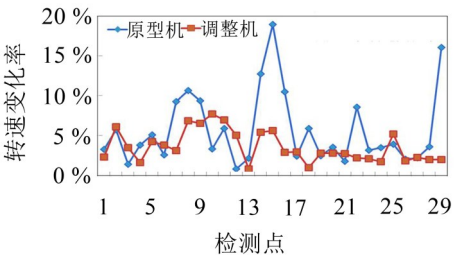


图8 转速变化率对比(热机状态)

从图9可知，大于88 Hz频率的声压值减小。

（2）请9位用户对比盲评，从表1可知，有8位感觉调整机有改善，从平均分来看，调整机的声音改善了16.4 %。

评价标准为：非常好：≥9～10，好：≥8～9，较好：≥7～8，普通：≥6～7，较差：≥5～6。

（3）从图7、图8可知，声压级A计权值、响度值小对应的最大转速变化率小，这表明转速变化与声音有关。声音测试与主观评价结果表明声压级A计权值、响度值和最大转速变化率可作为发动机怠速



(a) 原型机热机状态（工作周期频率为12.5 Hz）　　(b) 调整机热机状态（工作周期频率为11 Hz）

图 9　频谱对比(热机状态)

表 1　声音对比盲评结果表

No.	评价人	原型机	调整机	改善百分比/(%)
1	莫洪飞	6.3	8.1	28.6
2	唐孝伟	5.7	7.1	24.6
3	何松龄	6.4	7.9	23.4
4	狄世伟	6.9	7.7	11.6
5	贺伦华	7.2	7.9	9.7
6	张　川	6.5	7.4	13.8
7	牟俊林	7.1	8	12.7
8	张　旭	5.7	7.6	33.3
9	方扬波	8.5	8.5	0.0
平均分		6.7	7.8	16.4

声音的评价指标。

（4）经过不同时期装机批量验证，声音品质稳定、一致性好。

6　结　语

（1）测试、主观评价结果表明调整机的声音优于原型机，说明分析是合理的，措施是有效的。

（2）声压级A计权值、响度值和最大转速变化率可作为发动机怠速声音的评价指标。

（3）将声音与有关因素综合分析，寻找更多的可能性，将这些可能性贯穿起来，实践表明此方法是有效的。

（4）发动机的撞击音测试可以在背景噪声小于60 dB(A)的空旷地带进行，成本较低，值得推广。

致谢：

感谢清华大学汽车工程系裴普成教授、重庆市前沿专利事务所刘兴顺、嘉陵集团宋明、左辉荣高工、重庆长兴工业有限公司陈坤部长、重庆长江轴承股份有限公司王明书高工、立多禄工业股份有限公司施正恩工程师以及李寿明、林岗、雷万福、谌军等工程师对本文的技术支持和帮助。

参考文献：

[1] 舒歌群，刘宁. 车辆及发动机噪声声音品质的研究与发展[J]. **汽车工程**，2002，24(5)：403-406.
[2] 吴炎庭，袁卫平. 内燃机噪声振动与控制[M]. 北京：机械工业出版社，2005：95.
[3] 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，2006：7-15.
[4] 舒歌群，梁兴雨. 降低柴油机噪声的措施及评价[J]. **天津大学学报**，2006，39(4)：438-442.
[5] 杨陈，郝志勇. 单缸柴油机的噪声源诊断及其特性分析[J]. **农业机械学报**，2008，39(6)：198-200.
[6] 舒歌群，王养军，卫海桥，等. 汽车车内噪声声音品质的测试与评价[J]. **内燃机学报**，2007，25(1)：77-83.
[7] 石岩，舒歌群，毕凤荣. 车辆排气噪声声音品质的主观评价与模型预测[J]. **天津大学学报**，2011，44(6)：511-515.
[8] 刘友汉. 内燃机齿轮噪声控制[J]. **内燃机工程**，1998，19(1)：62-69.
[9] 周龙保. 内燃机学[M]. 北京：机械工业出版社，2005：50，102.
[10] 杨连生. 内燃机设计[M]. 北京：中国农业机械出版社，1981：222.
[11] 张智均. 五羊WY156FMI-4发动机的怠速噪声分析和控制[J]. **摩托车技术**，2006(9)：42-44.

（上接第208页）

参考文献：

[1] 常利伟，郝维. 基于CFD分析技术的汽车除霜优化设计[J]. **拖拉机与农用运输车**，2014，41(5)：40-42.
[2] 朱娟娟，陈江平，陈芝久，等. 汽车空调双后风道结构数值优化分析[J]. **制冷技术**，2004(3)：8-10.
[3] MUNJAL M L. Acoustic of ducts and mufflers[M]. 北京：国防工业出版社，1982.
[4] GIH J, LEE B H. Analysis of high-order mode effects in the circular expansion chamber with mean flow[J]. **J. Acoust. Soc. Am,** 1985 77: 1377-1388.
[5] 毕嵘. 复合式消声器声学特性的分析方法和实验研究[D]. 合肥：合肥工业大学，2012.
[6] 许小强，杨汝平，熊春晓. 吸声聚氨酯泡沫塑料的研究[J]. **宇航材料工艺**，2011(2)：17-20.
[7] 梁李斯，姚广春，穆永亮，等. 闭孔泡沫铝材料吸声性能分析[J]. **东北大学学报**（自然科学版），2011，32(1)：114-117.