

# 基于 GT-Power 的 BN6V87QE 汽油机性能优化仿真

韩爱民<sup>1</sup>, 蔺鑫峰<sup>1</sup>, 孙柏刚<sup>2</sup>, 刘 萍<sup>3</sup>, 汪家兴<sup>3</sup>

(1. 北京工业大学 环境与能源工程学院, 北京 100022; 2. 北京理工大学 机械与车辆工程学院, 北京 100081;  
3. 北京华翔北内发动机有限公司, 北京 100076)

**摘 要:**应用 GT-Power 软件建立了 BN6V87QE 汽油机整机结构和燃烧仿真计算模型, 利用该模型对发动机的原进气歧管部分结构参数、配气相位、空燃比和点火提前角电控参数进行了匹配计算. 实验验证了该仿真计算模型的计算结果与原机有很好的一致性, 在此基础上, 对 BN6V87QE 汽油机配气相位、空燃比和点火提前角电控参数进行了优化计算, 试验证明发动机的性能得到了改进.

**关键词:**汽油机; GT-Power 软件; 仿真; 性能优化

**中图分类号:** TK 413

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0254-0037(2007)06-0617-05

BN6V87QE 是北京华翔北内发动机有限公司生产的 V 型 6 缸电喷汽油机, 为适应配套车辆的要求, 需进一步优化发动机的性能<sup>[1]</sup>. 但是为了不改变原机装车尺寸和不增大产品成本, 要求对发动机的结构不作大的改动.

在优化过程中, 首先通过实验了解原机性能和测取标定仿真模型所需的汽缸压力、歧管压力等数据. 然后根据实验结果, 使用发动机工作循环模拟软件 GT-Power 建立发动机的仿真模型<sup>[2]</sup>, 针对发动机进气歧管的结构参数、配气相位和点火提前角等参数进行优化匹配计算, 分析各种参数对发动机性能的影响<sup>[3]</sup>, 提出优化方案, 最后由试验验证方案的有效性.

## 1 发动机仿真模型的建立和验证

原机有待性能优化的主要参数如下:

缸径×行程:	87 mm×83 mm
总排量:	2.960 L
压缩比:	9.0:1
标定功率/扭矩:	118 kW/248 N·m
标定转速:	5 200 r/min

依据生产厂提供的相关图纸及实验数据建立及标定仿真模型. 仿真模型主要由进气系统、汽缸、曲轴箱和排气系统组成, 如图 1 所示.

由于进排气歧管的形状比较复杂, 其结构尺寸参数是优化的重点之一, 首先使用 3 维造型软件 solidworks 建立管内腔的模型, 然后将生成的 stl 文件导入 GT-Power 附带的离散化工具 3D discretizer 进行离散化, 最后将生成的 dat 文件导入模型中, 用这一方法构建的进气歧管与排气歧管部分的离散化过程如图 2 所示. 其余形状相对简单的部分则通过参考相关图纸并利用软件提供的模板直接构建.

由于软件中没有空气滤清器模型, 因此将其作为管道处理, 其流动损失通过定义孔连接件中的流量系数实现.

由于优化过程还需要对点火提前角进行调整, 因此没有使用常用的相对简单的韦伯燃烧模型, 而是选择了更加准确的准维燃烧模型<sup>[4-5]</sup>, 在此模型中, 假设火焰前锋面是以火花塞为中心的球面, 将燃烧室分为未燃区和已燃区 2 个部分<sup>[6]</sup>. 燃烧参数主要通过前期的试验结果, 包括缸压等实测数据得出.

收稿日期: 2006-04-29.

作者简介: 韩爱民(1948-), 男, 河北曲阳人, 副教授.

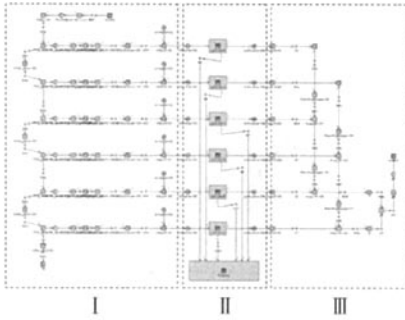


图1 GT-Power 仿真模型图  
Fig.1 GT-Power simulation model

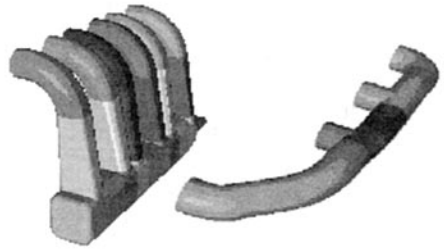


图2 进气歧管与排气歧管的离散化过程  
Fig.2 Discrete process between inlet manifolds and exhaust manifolds

图3是模拟计算结果与原机外特性试验结果中的转矩特性和有效油耗率的对比。外特性转矩的计算误差在3%以下,有效油耗率的最大误差除较大的2点在6%左右,其余的在3%左右,两者吻合较好。

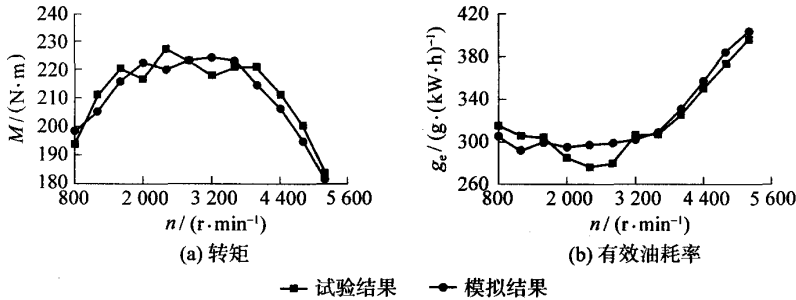


图3 模拟结果与试验结果对比  
Fig.3 Comparison of simulation and emanation results

由于准维燃烧模型的燃烧规律不是预先给定的,所以模型的缸内过程也需要进行实验验证,图4为转速为5 200 r/min时,6缸缸压计算结果与试验数据的对比,两者基本吻合。

除以上的标定内容,还对进气系统的空气流量、瞬时放热率、累积放热率、进排气总管和各歧管压力波、摩擦转矩等参数的模拟结果与试验结果进行了对比,误差都在允许范围内,结果表明,所建立计算模型的计算结果与原机相关参数有较好的一致性,可以满足后续性能预测和优化的需要。

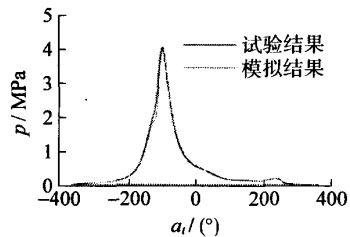


图4 气缸压力的模拟结果与试验结果对比  
Fig.4 Cylinder pressure result of simulation and emanation

## 2 模拟计算结果及分析

在完成仿真模型的建模和标定后,对相关参数进行进一步的优化匹配计算。

### 2.1 谐振腔容积对发动机性能的影响

进气总管相当于一个谐振腔,其长度和直径决定谐振腔的容积。由于安装限制,长度不能作较大改变,但可以适当改变总管的直径来改变容积,如图5所示。

原机进气总管的等效直径为68.175 mm,取不同参数分别进行模拟计算,计算结果见图6。可以看到,

随直径的增加,发动机的性能略有提高,但影响较小,变化幅度在几 N·m 左右,综合考虑可将直径增大至 80 mm.

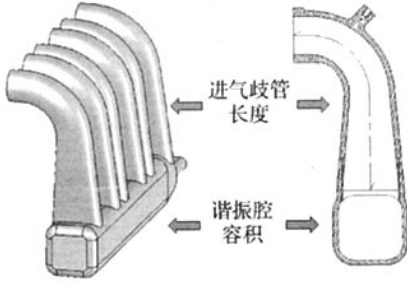


图 5 谐振腔容积和进气歧管长度示意图  
Fig.5 Volume of resonant cavity and length of inlet manifolds

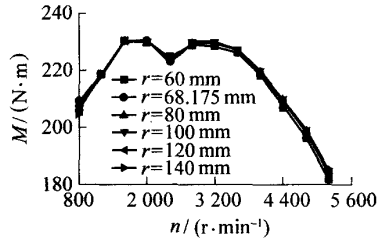


图 6 进气总管直径对发动机性能的影响  
Fig.6 Difference of engine performance with different diameter of inlet air pipe

### 2.2 进气歧管长度对发动机性能的影响

由内燃机原理可知,除了进气歧管的形状对进气分配均匀性、发动机性能的影响很大外,进气歧管的长度和直径是影响进气谐振增压的主要参数<sup>[7]</sup>. 本文假定管径不变,通过仿真计算确定最优管长,以便充分利用进气管内气体的动力效应来提高发动机的充气量<sup>[8-9]</sup>.

原机歧管长 210 mm 左右. 首先在较大范围改变歧管的长度以确定适当的长度范围,如图 7 所示. 在初步确定的范围内(增加 100~200 mm)再进行计算,结果如图 8 所示. 可以看出,随歧管长度的增加,中低转速性能有所提高,但高速性能则有所下降. 为兼顾高低转速的性能,最后决定将进气歧管的长度增加 150 mm.

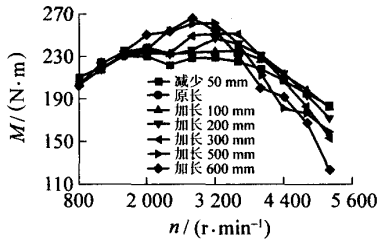


图 7 进气歧管长度对发动机性能的影响 1  
Fig.7 Difference of engine performance with different length of inlet manifolds 1

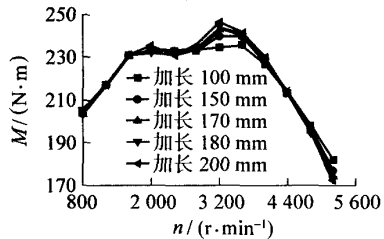


图 8 进气管长度对发动机性能的影响 2  
Fig.8 Difference of engine performance with different length of inlet manifolds 2

### 2.3 配气相位对发动机性能的影响

配气相位角大小因机型而异,其目的是利用气流的惯性和压差,改善进气过程,提高动力性和经济性.

原机左、右进排气相位有较大差别,据分析是为了使左、右排的汽缸分别适应高低转速的需要. 相应的配气相位见图 9. 通过对模拟结果的分析可以看出,由于配气相位的差别,原机左排和右排 3 缸的充气效率随转速变化的规律有很大不同,针对高速而优化的左排配气相位的优势没有得到充分体现,各缸充气效率随转速的变化规律见图 10.

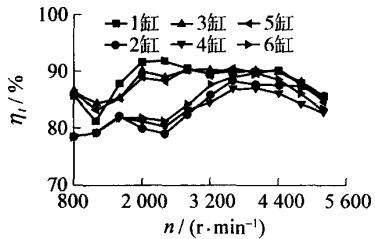


图 9 原机左、右排的配气相位(曲轴转角)  
Fig.9 Left and right port timing of prototype engine (crankshaft degree)

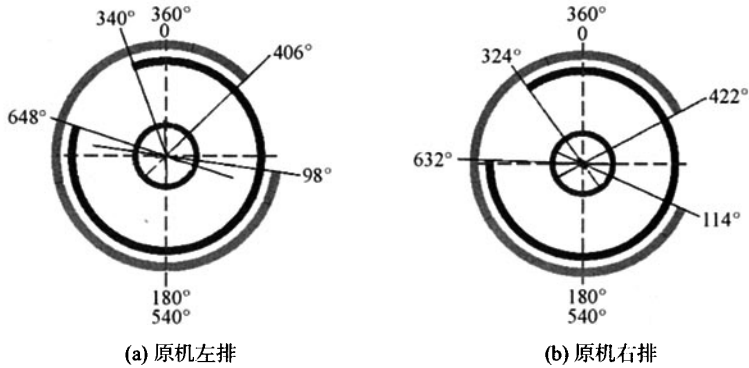


图 10 各缸充气效率随转速变化的规律

Fig. 10 Volumetric efficiency of cylinders change with speed

将原机分别全部采用左排或右排的配气相位发动机的外特性曲线模拟结果也是类似的(见图 11). 因此经过分析决定左、右排使用相同的配气相位, 并以原机右排的配气相位为基础进行优化.

在不同转速条件下分别对配气相位进行优化, 配气相位对发动机性能的影响见图 12. 为兼顾不同转速性能, 选定 3 600 r/min 的最佳相位, 进、排气门分别在曲轴转角 330°、108°处.

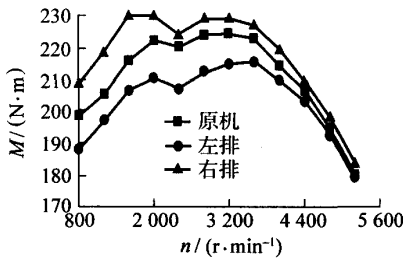


图 11 不同配气相位发动机的外特性

Fig. 11 Full-load performance curve of different port timing engines

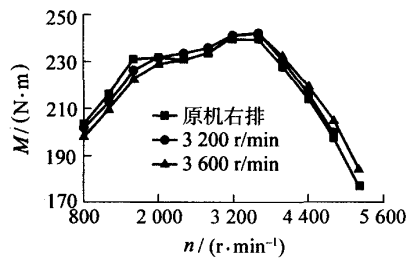


图 12 针对不同转速优化配气相位

Fig. 12 Optimized port timing of different speed

## 2.4 点火提前角和空燃比对发动机性能的影响

点火提前角和空燃比等电控参数对发动机的动力性、经济性和排放有着十分重要的影响, 应综合考虑汽油机负荷、转速及排放进行优化.

通过对点火提前角和空燃比等电控参数进行匹配优化计算, 高速和低速的性能均有一定程度提高, 其中高速的性能改善较大, 见图 13. 图中最下面一条曲线为原机的外特性转矩曲线, 优化结果比原机有较大程度提高.

## 3 实验验证

在完成优化计算后, 为验证计算的准确性进行了试验验证. 由于条件所限, 本文仅按照优化配气相位重新制作了凸轮轴, 试验数据与模拟结果的外特性转矩对比见图 14, 外特性转矩的计算误差均在 4% 以下, 两者吻合较好, 基本达到预期效果.

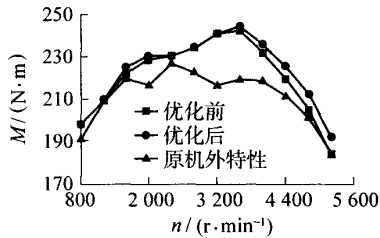


图 13 点火提前角和空燃比对发动机性能的影响

Fig. 13 Difference of engine performance with different spark advance angle and air fuel ratio

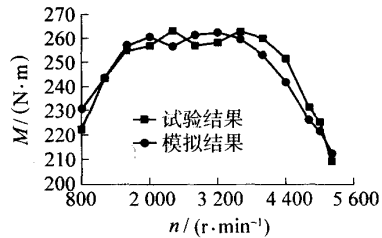


图 14 外特性转矩试验验证与模拟结果对比

Fig. 14 Torque of full-load performance curve verification of emanation and result of simulation

## 4 结论

1) BN6V87QE 汽油机整机结构和燃烧仿真计算模型与原机有较好的一致性, 为该机的多方面优化奠定了基础.

2) 配气相位的优化经实验验证与仿真结果相符, 使原机性能得到改进.

3) GT-Power 仿真软件的应用证明, 仿真算法能省时、省力地进行优化设计, 降低设计与试验成本.

## 参考文献:

- [1] 陈宇航. 475Q1 发动机用于混合动力轿车后进气系统的优化设计[J]. 内燃机, 2005(1): 8-10.  
CHEN Yu-hang. The optimization of the intake system of the 475Q1 engine for HEV[J]. Internal Combustion Engines, 2005(1): 8-10. (in Chinese)
- [2] 谢田峰, 金国栋, 钟绍华. GT-POWER 在内燃机排气消声器设计中的应用[J]. 内燃机, 2003(1): 14-16.  
XIE Tian-feng, JIN Guo-dong, ZHONG Shao-hua. Application of GT-Power in design of exhaust muffler for internal combustion engine[J]. Internal Combustion Engines, 2003(1): 14-16. (in Chinese)
- [3] 韩同群. 电喷发动机进气管的设计与开发[J]. 内燃机工程, 2005, 26(3): 22-26.  
HAN Tong-qun. Design and exploitation of intake pipe of engine equipped with EFI[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2005, 26(3): 22-26. (in Chinese)
- [4] 李岳林, 张志沛, 张雨, 等. 汽油机燃烧过程模拟分析[J]. 内燃机学报, 2000, 18(1): 57-62.  
LI Yue-lin, ZHANG Zhi-pei, ZHANG Yu, et al. Simulation analysis of the combustion process in gasoline engines[J]. Transactions of CSICE, 2000, 18(1): 57-62. (in Chinese)
- [5] 肖民. 内燃机循环模拟技术的发展[J]. 华东船舶工业学院学报, 1999, 13(6): 38-41.  
XIAO Min. Development of engine cycle simulation1[J]. Journal of East China Shipbuilding Institute, 1999, 13(6): 38-41. (in Chinese)
- [6] 陶海萍, 周大森. 小型汽油机工作过程的数值模拟[J]. 北京工业大学学报, 2005, 31(3): 70-74.  
TAO Hai-ping, ZHOU Da-sen. Numerical simulation of combustion process in SI engine[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2005, 31(3): 70-74. (in Chinese)
- [7] 邓康耀, 方适应, 朱义伦. 汽油机进气结构参数对换气过程的影响研究[J]. 内燃机工程, 2000(4): 1-5.  
DENG Kang-yao, FANG Shi-ying, ZHU Yi-lun. Study on effects of inlet system dimensions on gas exchange process of gasoline engines[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2000(4): 1-5. (in Chinese)
- [8] 许元默, 帅石金, 王建新. 进气歧管对电喷汽油机充气效率的影响[J]. 内燃机工程, 2004, 25(1): 27-34.  
XU Yuan-mo, SHUAI Shi-jin, WANG Jian-xin. Effects of intake manifold on volume efficiency of EFI gasoline engines[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2004, 25(1): 27-34. (in Chinese)
- [9] 邱卓丹, 沈捷, 冯冠东. 进气管结构参数对柴油机充气效率的影响[J]. 广西工学院学报, 2000, 11(2): 41-44.  
QIU Zhuo-dan, SHEN Jie, FENG Guan-dong. Effects of inlet manifold dimensions on volumetric efficiency of engines[J]. Journal of Guangxi University of Technology, 2000, 11(2): 41-44. (in Chinese)

## Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B/ $\alpha$ -Fe Nanocomposite Permanent Magnets Produced by Spark Plasma Sintering

NIU Pei-li, YUE Ming, ZHANG Dong-tao, ZHANG Jiu-xing

(The Key Laboratory of Advanced Functional Materials, Ministry of Education, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract:** The hot pressing and hot deforming Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B/ $\alpha$ -Fe nanocomposites were produced by Spark Plasma Sintering technique. Effects of pressing conditions of the microstructure and magnetic properties of the magnets were investigated. The results show that with the increase of hot press temperature, the density and the remanence of the magnets increase, while the coercivity decreases gradually, which leads to the rising of the energy at first and then decreasing. The maximum was at 94.7 kJ/m<sup>3</sup>. After hot deformation, the  $\langle 00L \rangle$  axis of Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B crystalline turned parallel to the direction of compressive pressure, thereby the magnetic anisotropic magnets were gained. However, the grain size became quite large due to high deforming temperature, therefore, the magnetic properties reduced sharply accordingly.

**Key words:** Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B/ $\alpha$ -Fe; hot deformation; anisotropy; spark plasma sintering

(上接第 621 页)

## Optimization Performance of Model BN6V87QE Gasoline Engine by GT-Power

HAN Ai-min<sup>1</sup>, LIN Xin-feng<sup>1</sup>, SUN Bai-gang<sup>2</sup>, LIU Ping<sup>3</sup>, WANG Jia-xing<sup>3</sup>

(1. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;

2. School of Mechanical and Vehicular Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

3. Beijing Gas Engine Group, Beijing 100076, China)

**Abstract:** A structural and combustion simulation of BN6V87QE gasoline engine is established based on GT-Power software. And the matching for inlet manifold, valve timing, air-fuel ratio and ignition advance angle are simulated on the model. The experimental results have shown that the simulation is in good agreements with the original engine, the parameters of the BN6V87QE model is optimized and performances of the engine are improved.

**Key words:** gasoline engine; GT-Power; simulation; performance optimization