

一款汽油机的性能提升研究

张小燕

(长安汽车工程研究院 重庆 401120)

摘要：本文对一款已有的 1.3L 四缸汽油机的动力性进行评价，找出需要改善的性能，确定需要调整的发动机结构。通过对发动机的凸轮型线、进排气系统进行重新优化设计，使得发动机的总功最大功率输出大于 50kW/L，最大净扭矩输出大于 90N.m/L 的开发目标。

关键词：汽油机 性能评价 优化设计 开发目标

Study on 4 Cylinder Gasoline Engine Performance Improvement

Abstract : the paper describe that the performance evaluation of a 1.3L 4 cylinder gasoline engine and find the aspects to be improved ,then assure the engine structure that will be re-design. The camshaft ,compression ratio, the intake system and exhaust system re-designed, the engine maximum power achieved 50kw/L, the maximum torque achieved 90N.m/L.

Key words : gasoline engine performance evaluation optimization design development target

本文是对一款量产的发动机进行性能升级，通过试验数据分析找出原机的设计缺陷，重新设计了发动机的活塞、气门型线、正时、进排气系统，提高发动机的性能，使得发动机的性能达到最大功率输出大于 50kW/L，最大扭矩输出大于 90N.m/L 的开发目标。

本文首先应用发动机热力学计算分析软件 GT-POWER 建立原发动机的换气和热力学分析模型，应用基础发动机的试验数据对仿真模型进行标定，并对原发动机的性能试验结果进行评价。对发动机的进排气系统、气门型线和正时进行优化，提出设计优化方法。

1、原发动机参数

原发动机的主要参数如表一所示。

发动机型式	水冷、直列四缸、四冲程、SOHC
缸径 (mm)	74
冲程 (mm)	75.5
压缩比	9.5
排量 (L)	1.3
最大扭矩	106Nm@3000rpm
额定功率	59kW@6000rpm
目标净扭矩	117 Nm3000-4500 rpm
目标净功率	63 kW@5500-6000rpm

表一 发动机主要参数

2、建立原发动机整机性能分析模型

根据发动机的几何和结构参数利用 GT-POWER 软件建立基础发动机的换气 and 热力学模型，如图 1 所示。并根据发动机的试验数据对仿真模型进行标定。

根据发动机的几何和结构参数建立原发动机管道换气模型，根据燃烧开发的试验数据建立发动机的燃烧、摩擦、换热、喷油模型，根据气道流量试验建立进排气道的流动模型，根据试验数据对发动机的排气背压、功率、扭矩、油耗、压力波动等进行标定，并将误差控制在 5% 以内。

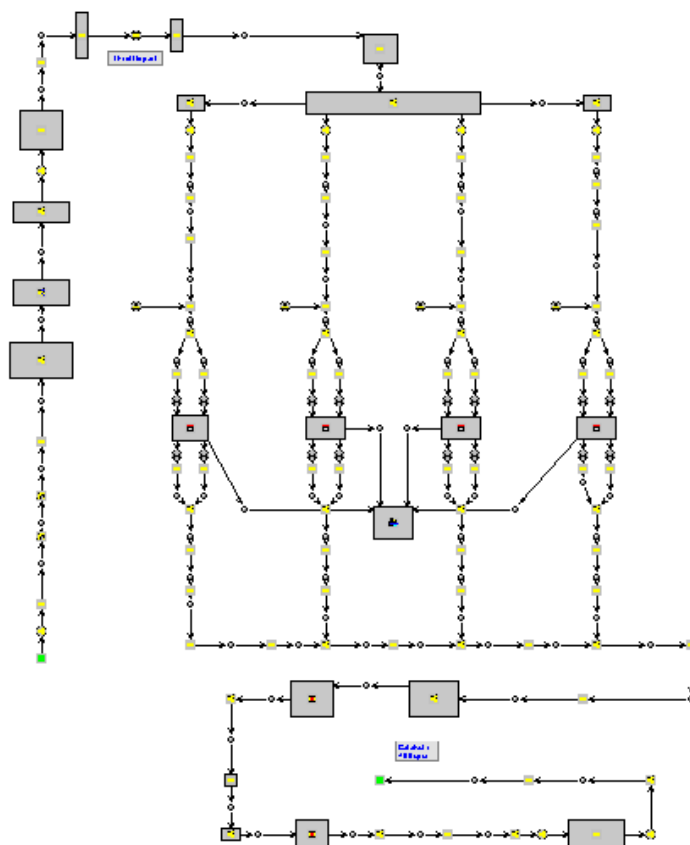


图 1 原发动机 GT-POWER 模型

3、原机的性能评价

通过原机的试验数据对原机的性能进行评价，确定需要改进的发动机结构。经过比较确定以下三个方面存在改善的潜力：

1) 气道的设计

从试验结果上看发动机气道的流量系数比较大，发动机的滚流比较低，滚流比小，会导致燃烧效率不高，在设计改进中需要增强进气滚流。

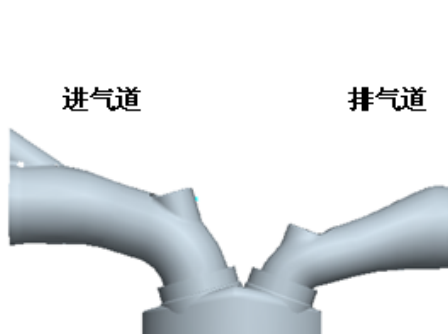


图2 原发动机气道模型

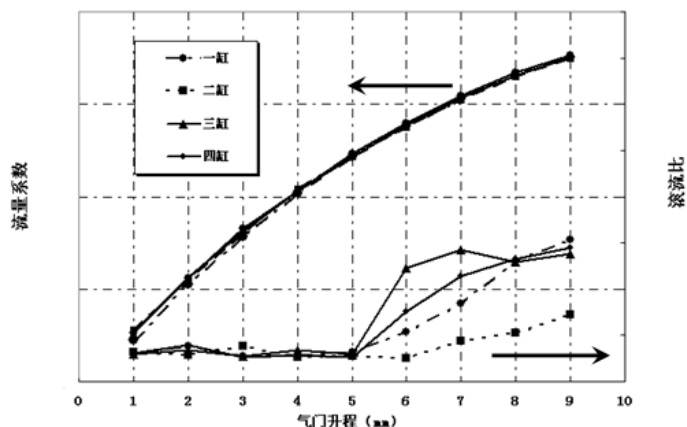


图3 原发动机气道流量系数

2) 排气背压

试验数据表明排气系统的总背压过高，见图4所示。通过对排气系统各个零部件压力损失的分析，得出在低于4000rpm时排气的阻力损失中三元催化器占主导因素，高于4000rpm时，消声器的压力损失占主导因素，见图5所示。所以需要调整排气系统的几何结构降低排气阻力损失。

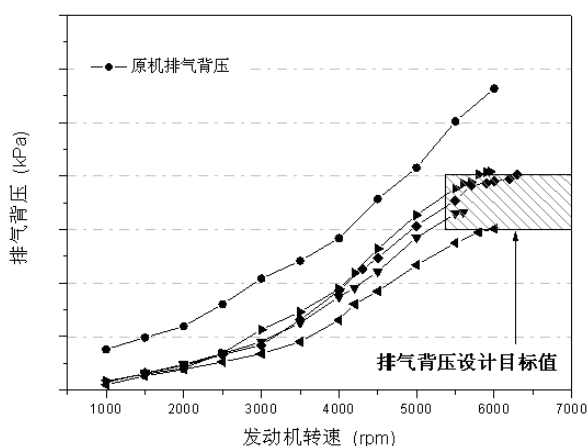


图4 原发动机排气背压

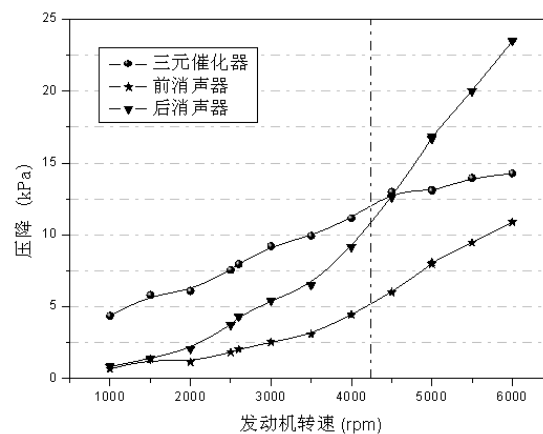


图5 原发动机各原件压力损失

3) 缸内残余废气量

缸内残余废气量可以通过发动机性能分析模型得到。从原机的 GT-POWER 性能分析模型计算结果得到原机的缸内残余，对残余废气量与其它机型的结果进行比较，比较结果如图 6 所示。从图上看原机的缸内残余废气量远高于其它类似机型，需要对发动机的换气系统重新进行优化。通过监控进气门处的压力波动看出在低转速下进气门关闭后期缸内气体回流较大，这是造成发动机缸内残余废气量大的主要原因，见图 7。

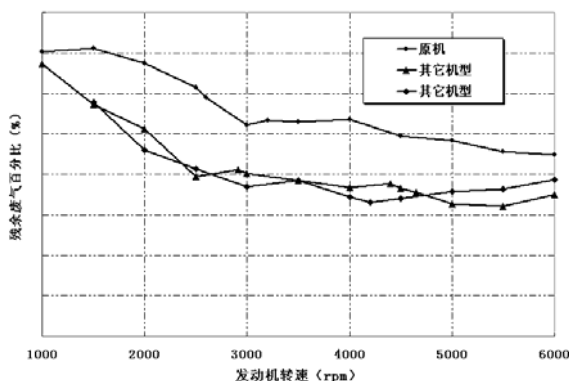


图 6 原发动机缸内残余废气百分比

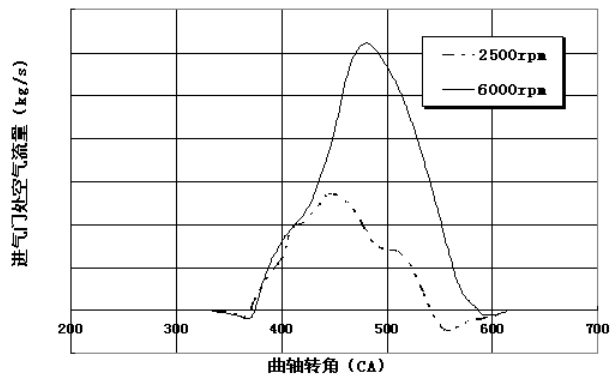


图 7 原发动机进气波动曲线

4、 发动机性能提升方案

根据对试验结果的分析，本着在基本不增加成本的前提下，确定从以下几个方面提升发动机的性能：

- 1) 重新设计活塞及活塞顶面的形状，改善缸内的流动。提高压缩比，压缩比由 9.0 增加到 10.5，改善缸内的燃烧；
- 2) 重新设计进气歧管，将原来的铝合金进气歧管变为塑料进气歧管，同时优化歧管的结构，歧管气道长度和管径，以提高发动机低速端扭矩和性能；
- 3) 重新设计排气系统，降低排气系统的阻力损失，在最大功率点，阻力损失降低到 40mbar 以内；
- 4) 重新设计气门型线和正时，降低缸内残余废气量。

5、 发动机结构优化分析与设计

5.1 进气歧管结构优化

原发动机的进气歧管的设计在结构上存在不合理的结构，原发动机的进气歧管四缸管道上布置了发动机的出水管道，高温的出水会对四缸的进气加热，降低发动机的进气量和各缸进气不均匀性。所以修改了发动机的循环水的出水位置，在新设计的进气歧管上取消

了四缸位置的高温出水管, 增加发动机的进气量和充气效率。原状态的铝合金进气歧管与重新设计的塑料进气歧管结构的比较, 见图 8 和图 9。

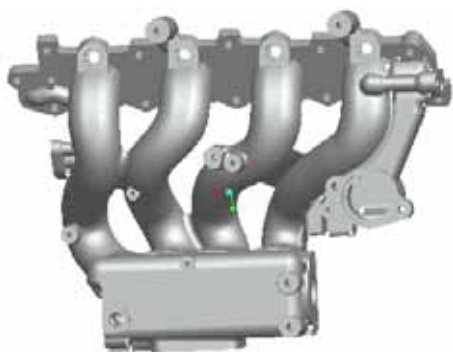


图 8 原状态进气歧管

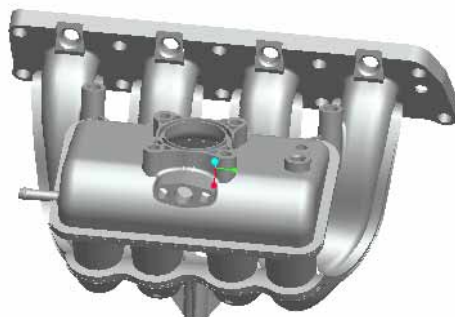


图 9 新设计状态进气歧管

同时利用 GT-POWER 软件对进气歧管管道的长度和截面积的变化进行了优化分析, 以提高发动机的性能。首先对进气歧管长度做 DOE 分析, 确定进气歧管的长度范围, 从中择优选择确定歧管长度为 320mm, 计算结果见 图 10。然后在确定长度的前提下对进气歧管的管径变化进行分析, 分析结果见 图 11。从分析结果看歧管管径变化 D36-D33-D33-d36, 各管径变化对应的长度分别为 L128-L100-L92。

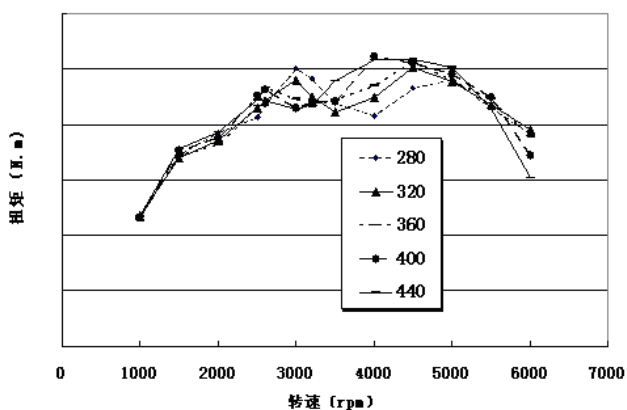


图 10 进气歧管长度 DOE 结果

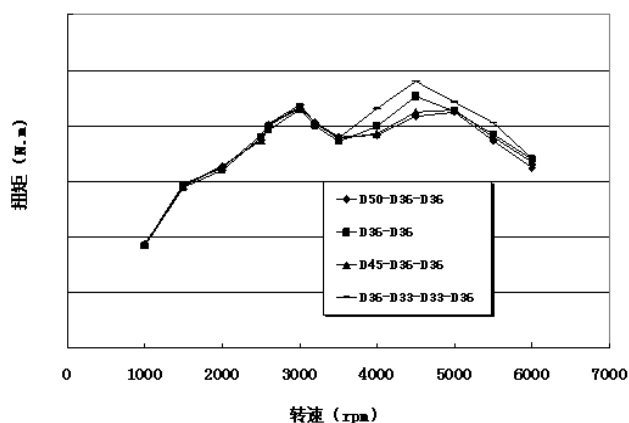


图 11 进气歧管管径变化分析

5.2 气门升程型线优化

由于低速端的进气门回流比较严重, 缸内残余废气量较高, 需要重新设计气门型线和正时, 提高充气效率, 降低缸内残余废气量。从图 7 发动机进气门口部气体波动曲线图上可以看出, 再 2500rpm 下进气门关闭时间需要提前。所以将进气门的关闭角度提前, 同时将最大升程增加, 以提高进气效率, 修改前后的气门升程比较如图 12 所示。

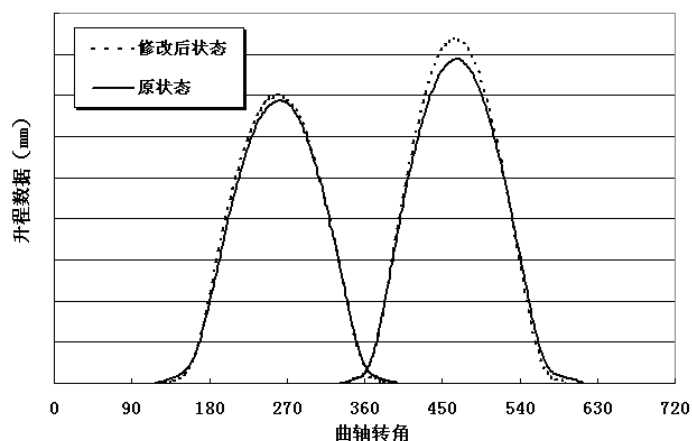


图 12 优化前后气门型线比较

按照优化后的气门型线和正时, 利用 GT-POWER 软件预测发动机性能的改善情况, 预测结果如图 13。优化后的缸内残余废气量得到了很大的改善, 发动机的性能得到了较大的提高, 尤其是中低速端扭矩最大提升 5.5%。

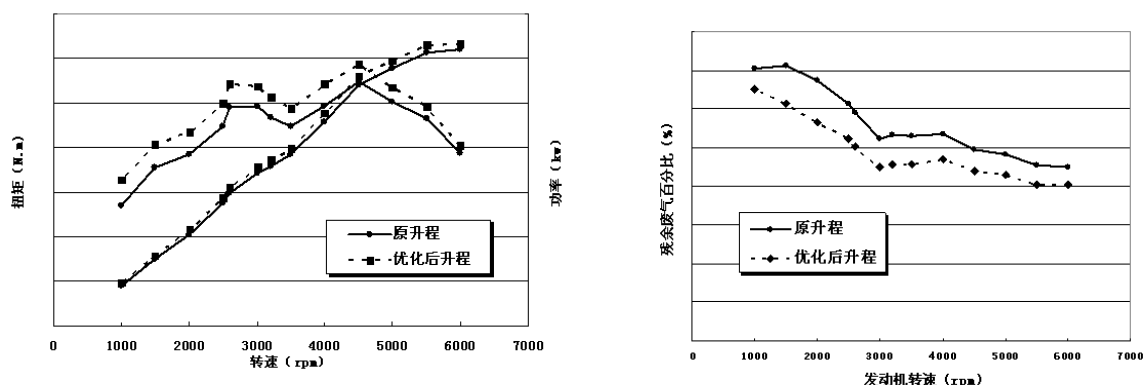


图 13 气门型线优化前后发动机性能比较

5.3 排气歧管结构优化

原机的排气歧管的结构如图 14, 各缸之间的相互影响较大, 在同样的排气流量下, 背压较高, 排气阻力较大, 会造成缸内残余废气量较高, 且残余废气量各缸差异较大。在设计排气歧管时, 尽量减小各缸之间的相互影响, 对于四缸自然吸气发动机尽量采用先一四缸、二三缸分别合并再合并的 4-2-1 结构, 来减小各缸之间的影响及排气背压, 提高发动机的性能。将原机的排气歧管结构优化成图 15 所示的 4-2-1 结构的排气歧管后, 缸内残余废气量在修改气门升程和正时的基础上又最大降低 15.3%, 缸内残余废气量达到了正常自然吸气发动机的水平, 见图 16。同时发动机的性能也得到了提升, 扭矩最大提升 2N.m。排气歧管结构优化前后发动机性能的变化见图 17。

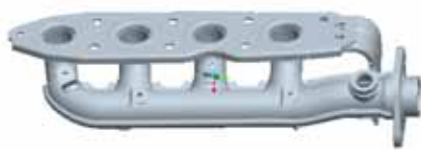


图 14 原机状态排气歧管



图 15 优化后状态排气歧管

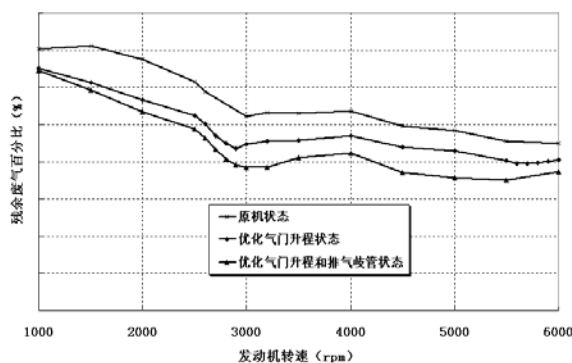


图 16 缸内残余废气量变化图

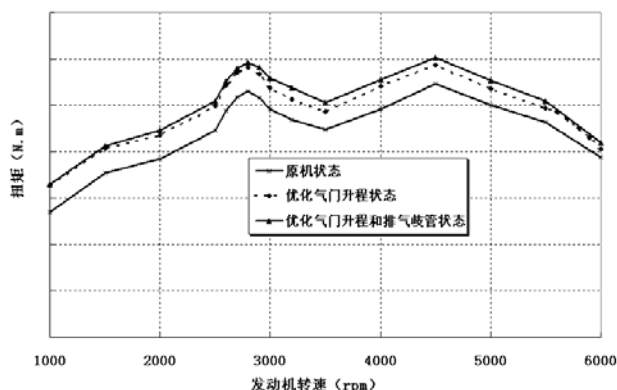


图 17 发动机扭矩变化图

5.4 活塞结构优化

原机的压缩比为 9.0，缸内滚流较低，导致燃烧效率低，油耗较高。所以活塞的设计需要改变头部凹坑的形状，增加缸内滚流。增大压缩比，可以增加燃烧速率，提高发动机的燃油转化效率，提高发动机输出扭矩；减小缸内的残余废气量，增加发动机充气效率，可以提升发动机动力性能。

新的优化方案在活塞顶部增加一凹坑，尽可能在缸内形成趋势性流动，即滚流，以弥补原气道的滚流较低的缺陷。同时使凹坑的中心偏向排气门侧，增加高温侧（排气门）的燃烧空间，使燃烧速率降低，缩短高温侧的火焰传播距离，使发动机的爆震倾向减小，让冷侧（进气门）火焰传播距离稍长，这样在降低发动机爆震倾向的前提下，将发动机的压缩比由 9.0 增加到 10.5，提高发动机的燃油转化效率，降低燃油消耗。



图 18 原状态活塞



图 19 改进后活塞

根据文献资料提供 在车速 40km/h 下典型的能量损失分布图, 见图 20, 可知活塞环组件的摩擦占总摩擦大约 32%。为了降低发动机的摩擦损失, 活塞环采用低张力活塞环。

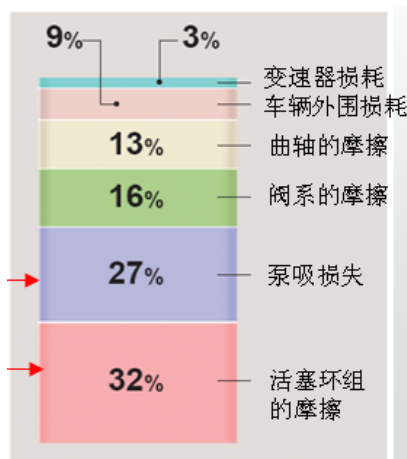


图 20 发动机能量损失分布图

6 试验验证结果

通过制做进气歧管、排气歧管、活塞、凸轮轴样件, 对发动机重新进行了燃烧开发试验, 发动机的最终性能得到了大幅度的提高。最大功率由原来的 60kW, 增加到 66kW 增加了 10%; 最大扭矩由原来的 106N.m, 增加到 119N.m, 增加了 12%; 最低油耗 252 g/kWh, 降低了 8g/kW.h; 发动机经济油耗区域, 例如 280 g/kWh 等高线所对应的区域, 明显扩大, 经济油耗区域内油耗普降 8-20 g/kWh, 在功率大于 30 kW 的区域, 比油耗降低高达 10-30 g/kWh。

图 21 为, 优化前后节气门全开外特性下发动机输出扭矩的比较。图 22 为优化前后节气门全开外特性下 BSFC 的比较。

本次改进设计有效的提高了发动机性能, 同时发动机的生产成本基本没有增加, 满足了低成本高性能的设计要求。

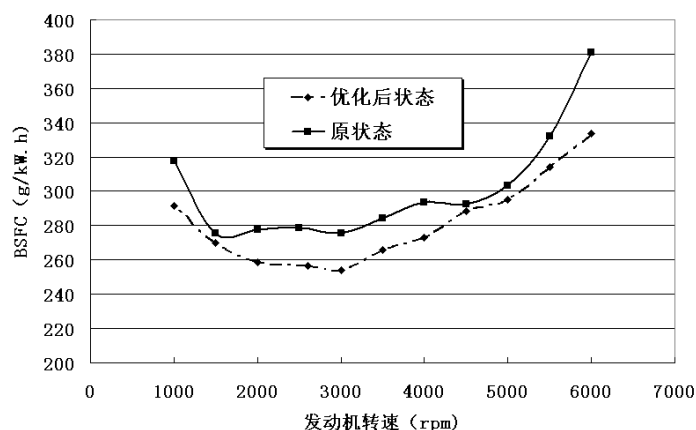
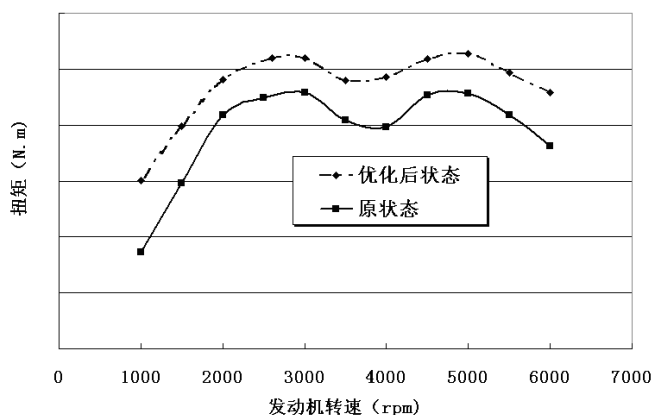


图 21 外特性扭矩比较

图 22 外特性油耗比较

7 总结

通过增加发动机的压缩比,优化进气歧管、气门型线、气门正时和排气歧管结构能够有效的改善发动机的换气能力,大大降低发动机的缸内残余废气量,使缸内残余废气量降到了正常水平,发动机的性能得到了改善,达到了预定的开发目标。本次改进只用了两个多月的时间,在设计中发动机性能仿真软件 GT-POWER 提供了很好的设计指导,大大提高了开发设计速度和开发一次成功率。

参考文献

- [1] John B.Heywood, Internal Combustion Engine Fundamental, McGraw-Hill, Inc. 1998
- [2] 周龙保, 内燃机学, 机械工业出版社, 北京, 2005.1
- [3] 张小燕 詹樟松, 发动机可变长度进气系统的优化设计研究, 内燃机, 2007(1)