

某款发动机的性能分析及优化

拓海东 骆富贵 周华

海马轿车有限公司 发动机开发部

摘要: 利用 GT-POWER 软件对某款汽油发动机进行热力学性能仿真, 并通过对进气歧管长度、VVT 和气门升程进行优化, 显著提高了发动机性能。结果显示, 单独加长歧管长度可以提高中低速扭矩; 使用 VVT 可以提高低速和高速扭矩; 适当减少进气门工作包角可以提高低速扭矩。

关键词: 汽油机 GT-POWER 优化设计 性能提升

ABSTRACT: An engine thermodynamic performance model was established by using GT-POWER software, and engine performance has been improved apparently by the optimization of intake manifold length and VVT design and valve lift. The results show that the torque of middle and low engine speed can be increased through adding the intake manifold length, and the torque of low and high engine speed can be improved through VVT technology, and the torque of low speed can be increased through decreasing the intake cam working angle.

Key word: gasoline engine GT-POWER optimization design performance improvement

1 概述

在现代发动机开发过程中, 进行发动机模拟计算是必要的组成部分。在项目的初始阶段, 定义好发动机和零部件的边界条件, 不仅能使开发目标更加明确, 同时可以减少大量的后期零部件开发时间和费用, 减少零部件返工的几率, 大大缩短开发时间, 是现代设计的最有效手段。

GT-power 是一款功能强大的 CAE 分析软件, 可以用来计算与发动机相关的各种参数。目前, 在工程上应用最广泛的途径就是利用准确的模型对发动机的进气系统、排气系统、配气相位和升程进行优化, 大大减少后期台架试验, 节约开发成本。

本文即是用 GT-power 对某款发动机进行建模分析, 模型建立后分析是否能达到设计目标。然后根据项目组的需求对其进行优化, 主要通过进气歧管长度、VVT、配气相位和升程的优化, 预测发动机优化后的性能。

2 模型建立

2.1 结构参数

模型主要结构参数如下表 1:

表 1 发动机主要参数

参数	数值	单位
缸径×冲程	70×84.6	mm
连杆长度	126	mm
压缩比	10	
点火顺序	1-3-4-2	
活塞销偏心	0.5	mm
升程曲线	数值输入	-

2.2 边界条件的确立

节气门流量系数的选取：由于只进行全负荷计算，所以只选取了全开时的流量系数。其中，节气门开启角度为 0 度时，流量系数为 0.2；节气门开启角度为 90 度时，流量系数为 0.8。

进排气道处的流量系数通过 CFD 分析得到。

发动机的机械损失，通过经验值进行输入。

GT-power 软件关于管路内流动及传热的计算原理：采用有限容积法进行一维 N-S 方程的求解。求解关于 X 与时间 T 上的结果，并能自动根据流体流动的状态进行时间步长的调整。发动机机体的管路传热采用了第一类边界条件，也就是在不同工况、不同位置下输入不同的管路壁面温度。

依据相关图纸及试验数据建立仿真模型。仿真模型主要由进气系统、气缸、曲轴箱和排气系统组成。

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，首先使用三维造型软件建立管内腔的模型，然后将生成的 stl 文件导入 GT-power 附带的离散化工具 GEM3D 进行离散化，最后将生成的 dat 文件导入模型中，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。

建立气缸内的燃烧及热力学模型时，有如下几个假设：

(1) 气缸中的工质是均匀的，它是由纯粹的空气和燃烧废气组成，用过量空气系数表示这种关系；

(2) 整个系统内，工质的状态不受空间的影响，仅随时间的变化，也就是符合定常、准稳态过程；

(3) 不考虑气体在高温时的离散作用。

缸内的燃烧模型采用 Wiebe 函数模型进行求解，并根据发动机的工况进行如下参数的调整：起燃点、燃烧持续期及燃烧品质，以达到准确的计算结果。缸内气体与缸壁的传热模型采用半经验半理论的 Woshni 模型。

2.3 发动机模型的建立

根据以上主要参数和边界条件，建立发动机模型如图 1 所示：

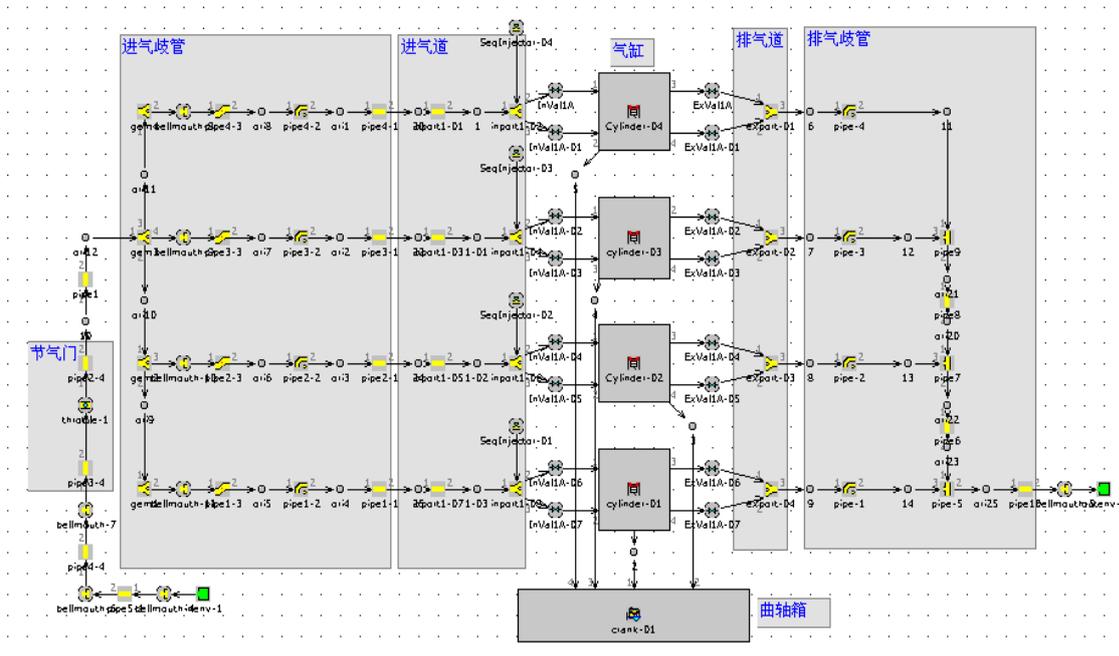


图 1 发动机模型

3 计算结果

通过建模计算，得到满足要求的模型。全负荷工况下的部分计算结果如下图所示。

(1) 扭矩和功率如下图 2 所示：

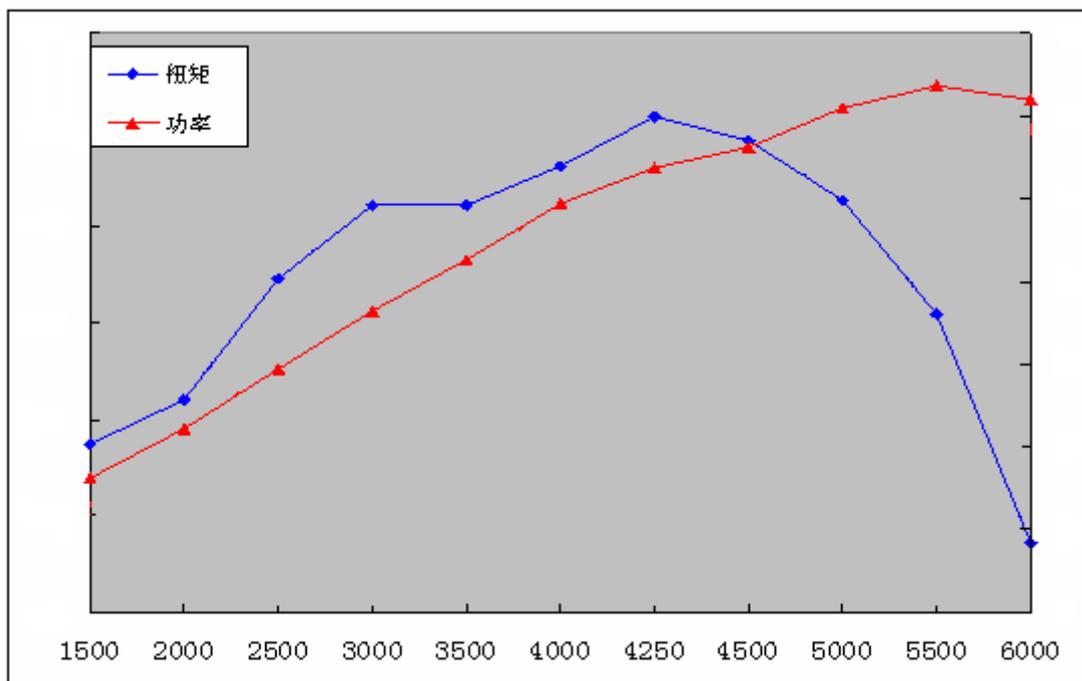
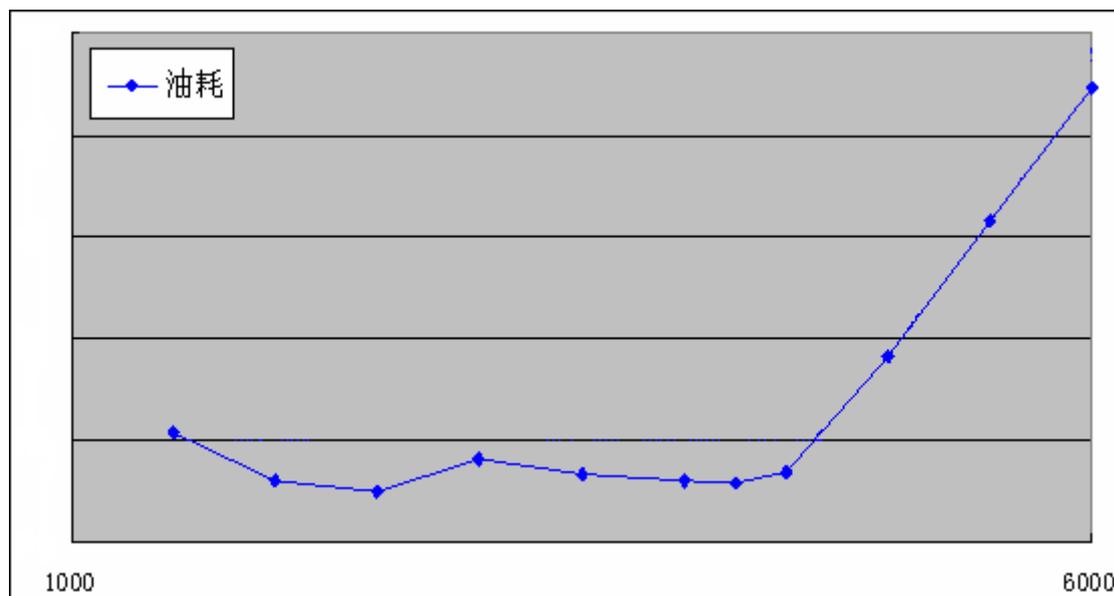


图 2 扭矩和功率值

- ◆ 发动机的扭矩在 4250rpm 时达到最大 120.8Nm;
- ◆ 发动机的功率在 5500rpm 时达到最大 63.6kW。

(2) 油耗如下图 3 所示:



- ◆ 外特性最低燃油耗 259g/ kWh。

4 发动机性能优化

由于项目组要求这款发动机要有比较好的低速动力性，所以下面从进气歧管长度、VVT、配气相位和升程这些方面优化发动机的低速动力性。

4.1 发动机进气歧管的优化

原模型进气歧管长度 380mm，现在分别做进气歧管在原模型（380mm）基础上增加 30mm，60mm，90mm，120mm，得到四组数据，与原模型比较，结果如下图 4 所示：

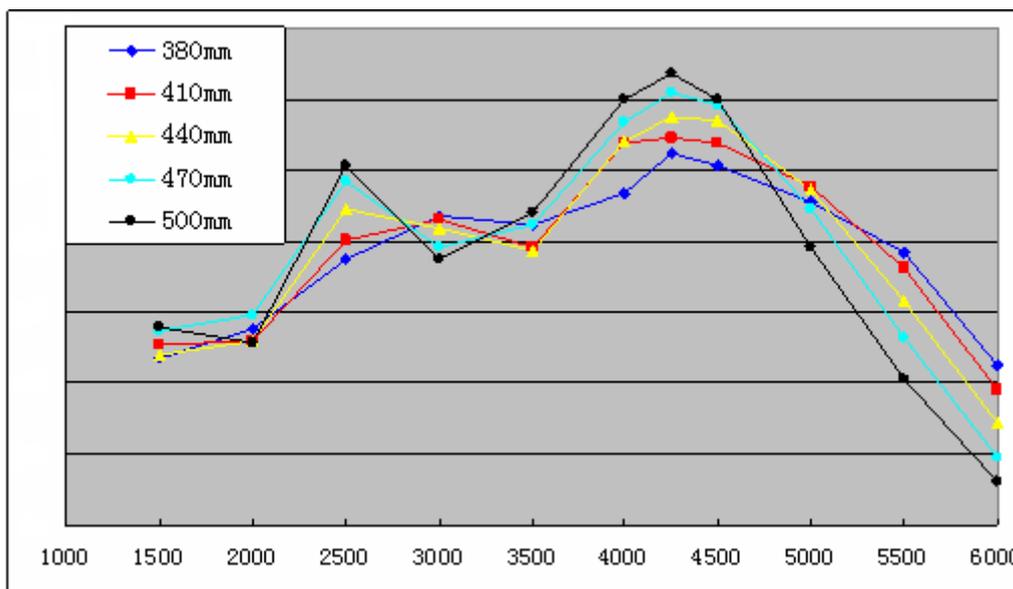


图 4 扭矩值

通过上图比较进气歧管加长后，发动机的低速动力性会增大，但高速动力性也会适当降低。综合考虑，我们选择进气歧管长度为 470mm。

4.2 VVT 的分析

在进气歧管优化的基础上，通过软件自带的 Optimizer 功能对进气正时角度进行优化，本次优化的范围为 40 度曲轴转角范围，在 40 度曲轴转角范围内，通过优化可以找到每个转速下的最大扭矩以及所对应的进气门正时角度。结果如下图 5 所示：

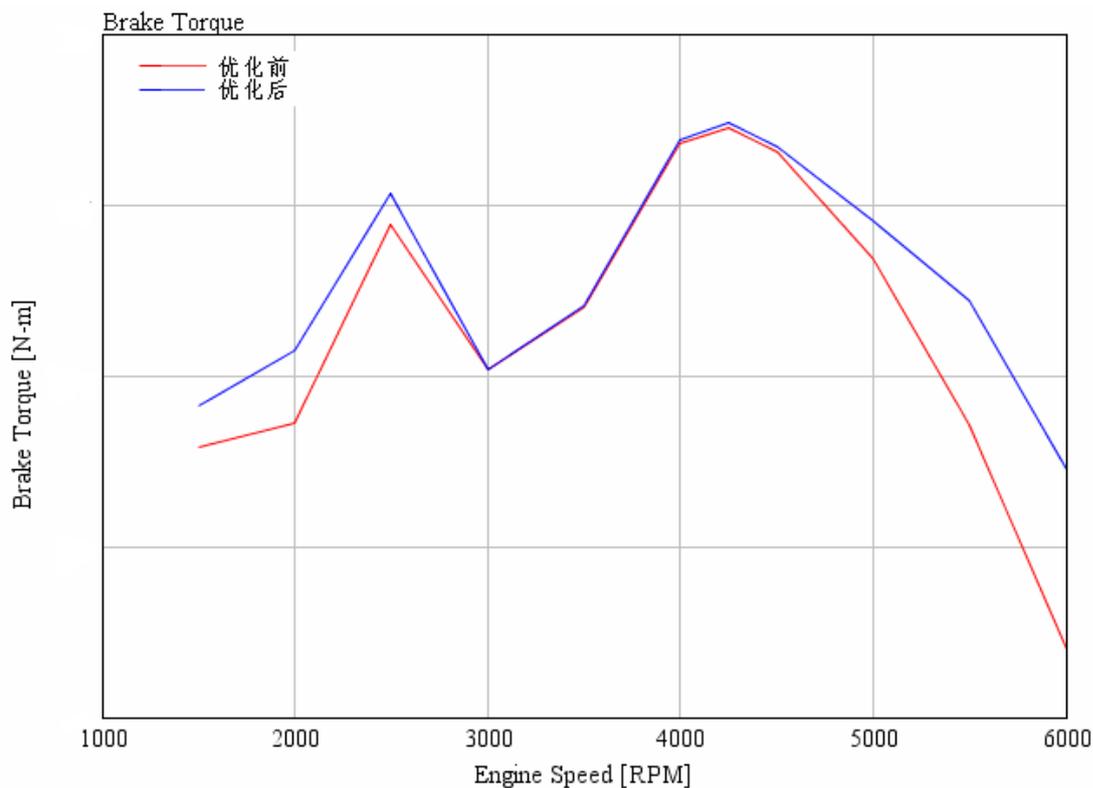


图 5 扭矩值

4.3 配气相位和升程的优化

由于进排气相位和升程对发动机的充气效率影响很大，进而对发动机的性能会产生很大影响，所以对发动机的进排气配气相位和升程进行优化。本次优化是在不带 VVT 的发动机模型上进行的。

通过软件自带的 DOE 功能，将进气阀工作包角、升程和排气阀工作包角和升程，以及配气正时进行优化。最后得到的结果是进气工作包角对发动机的低速性能影响比较大，适当减少进气阀的工作包角可以提高低速性能。

综合考虑项目组对低速性能的要求以及进排气凸轮自身性能，本模型最后得到的结果是：进气工作包角变为原来的 0.95 倍，进气升程变为原来的 1.05 倍，排气工作包角变为原来的 0.95 倍，排气升程变为原来的 1.05 倍。优化后的发动机扭矩如下图 6 所示：

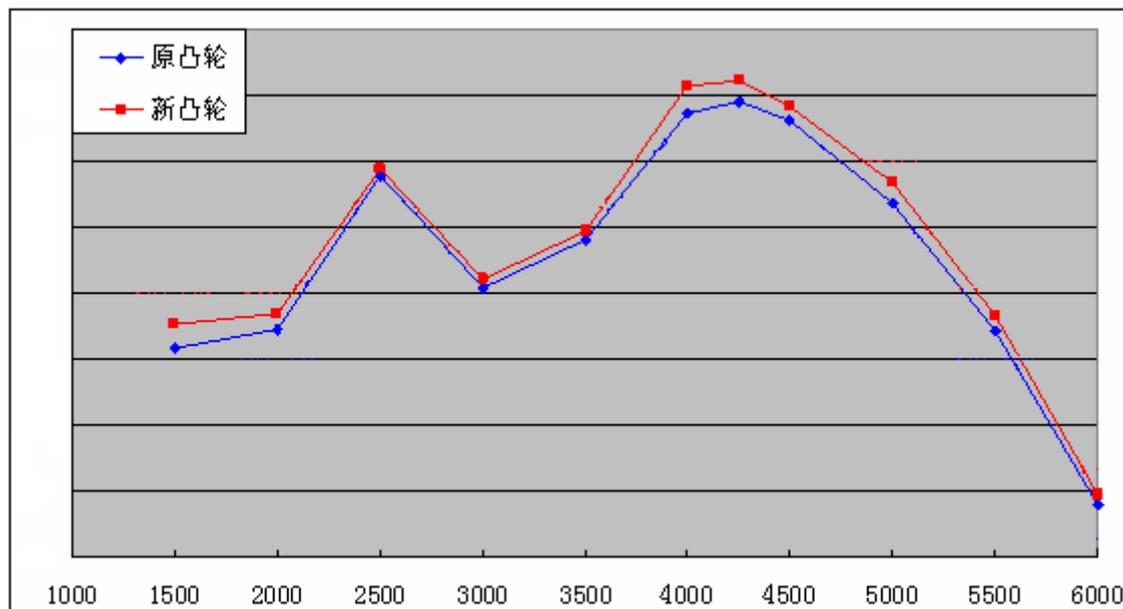


图 6 扭矩图

5 结论

- 1, 利用 GT-power 建立发动机模型, 满足定义的各项边界条件的要求, 计算结果同时作为设计边界进行零部件开发;
- 2, 将进气歧管长度增加后, 可以显著提高中低速扭矩;
- 3, 如果气门正时角度选择的好, 在使用 VVT 后可以显著提高低速和高速扭矩。
- 4, 适当减少进气阀工作包角可以提高发动机低速性能。

6 参考文献

- [1] 周龙宝,《内燃机学》,机械工业出版社,1999年6月
- [2] 陈家瑞,《汽车构造》,机械工业出版社,2009年1月
- [3] GT-SUITE 帮助文档