

# 基于 GT-power 的发动机燃油经济性优化 Optimization of engine fuel economy by GT-power

程建德

(东风康明斯发动机有限公司)

**摘要:** 利用 GT-power 软件针对某款发动机的特定匹配应用工况,进行了燃油经济性的优化。建立了可预测燃烧模型,主要进行了增压器的选型和旁通阀开启压力的计算,利用 DOE 工具完成配气相位的优化分析。优化后,发动机在保持性能的情况下,经济性有很大提升。

**关键词:** GT-power; 增压器; 优化; 凸轮相位; 性能

**Abstract:** By GT-power tool, according to the specific application condition of an engine, optimized the fuel economy. Developed predict the prediction combustion model, and the main work was that calculated selection and by-pass valve opening pressure about turbocharger, utilizing DOE tool to finish the optimization of the cam timing. After optimization, the engine in maintaining the performance situation, improve the fuel economy.

**Key words:** GT-power、 turbocharger 、 optimization 、 cam timing、 performance.

## 1 前言

近年来,随着国内排放法规的升级,为了照顾排放的要求,在发动机上不同程度的牺牲了部分经济性。然而,市场上对经济性的要求日益提高,为了提高产品竞争力,通过对发动机增压器匹配和凸轮相位的共同优化,对 1400RPM 转速以下区域完成发动机经济性的提高。

涡轮增压器的匹配是试验量较大的一个试验,试验成本高,同时凸轮相位匹配工作如果通过试验来进行寻优,则需要大量的样件,耗时耗力。GT-power 作为一款国际先进的一维计算软件,在研发中可以发挥重要作用,减少成本和缩短开发周期。

## 2 发动机基础模型的建立和标定

### 2.1 发动机基础模型的建立

发动机基础模型的建立是进行计算的基础。为了更好的预测和进行后面的优化工作,模型建立为可预测模型。

发动机的进出气管路的尺寸由 GEM3D 前处理软件进行离散获得,喷油量、轨压、提前角、喷油规律、气道流量系数、涡流比等通过试验获取,气门升程通过查阅图纸得到。

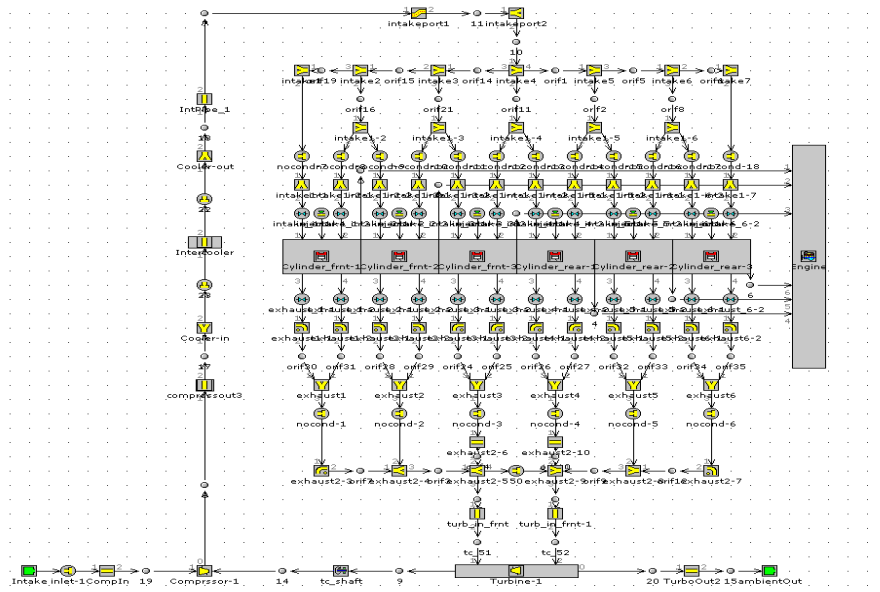
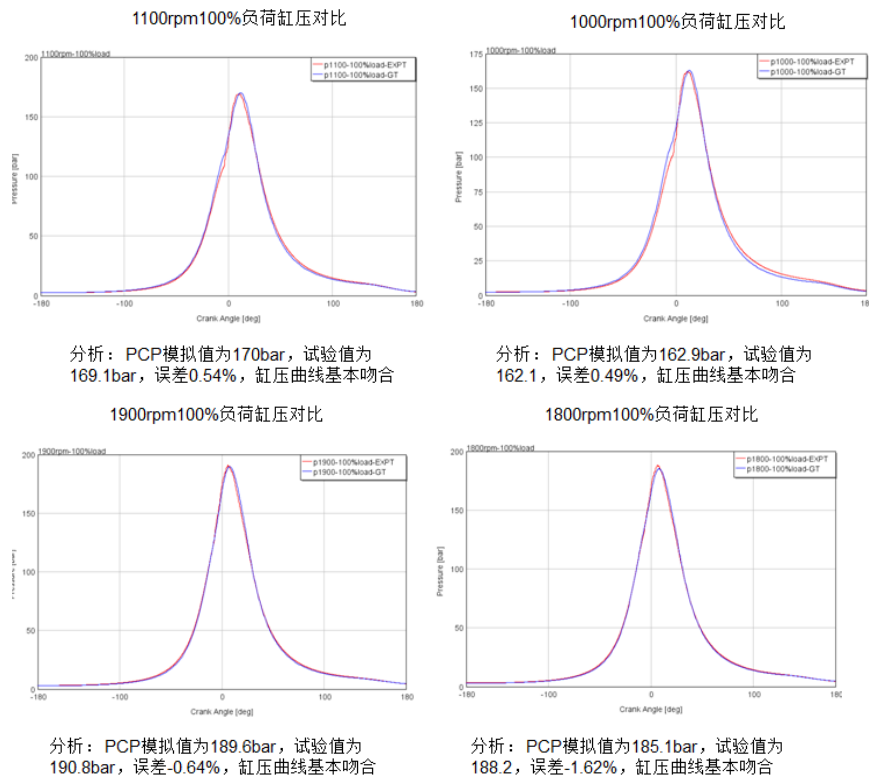


图 1：发动机基础模型

## 2.1 发动机基础模型的标定

为了保作证预测精度，需要对发动机进行标定。此次分析针对 1000RPM-1900RPM 的 30%-100%负荷工况点进行优化，因此 GT-power 模型进行了这些工况下的标定。其中功扭、进气流量、中冷前压力、中冷后温度、中冷后温度、中冷后压力、涡前压力、涡后压力、涡轮转速、爆发压力、比油耗误差都控制在 5% 范围内，涡前温度，涡后温度误差都控制在 10% 范围内。

图示展示了部分外特性的标定结果：



| 转速   | 功率     | 扭矩     | 比油耗    | 进气流量   | 中冷后压力  | 中冷后温度  | 中冷后压力  | 中冷后温度 | 涡轮压力   | 涡轮后压力 | 涡轮温度   | 涡轮后温度  | 涡轮转速   | 爆发压力   | NOx    |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1900 | 0.57%  | 0.49%  | -0.50% | -3.96% | -4.93% | 0.69%  | -4.66% | 1.03% | -0.08% | 0.04% | 0.85%  | 2.66%  | 2.95%  | -0.64% | 37.26% |
| 1800 | -0.04% | -0.23% | 0.22%  | -2.27% | -3.17% | 1.53%  | -2.89% | 0.18% | 0.44%  | 0.05% | 0.90%  | 3.21%  | 3.85%  | -1.62% | 26.85% |
| 1700 | -0.23% | -0.25% | 0.25%  | -1.94% | -2.59% | 1.19%  | -2.43% | 0.55% | 0.49%  | 0.06% | 0.70%  | 2.70%  | 3.77%  | -0.31% | 25.52% |
| 1600 | 0.33%  | 0.34%  | -0.34% | -2.39% | -1.95% | 0.91%  | -1.82% | 0.35% | 0.77%  | 0.07% | 0.54%  | 1.87%  | 3.31%  | -1.35% | 16.67% |
| 1500 | 0.50%  | 0.30%  | -0.30% | -0.50% | -0.55% | 1.17%  | -0.86% | 0.88% | 1.29%  | 0.08% | 0.59%  | 1.31%  | 3.11%  | -0.42% | 19.53% |
| 1400 | -0.64% | -0.65% | 0.65%  | -0.94% | -3.57% | -0.36% | -3.84% | 0.23% | -1.46% | 0.05% | 0.50%  | -0.58% | 0.97%  | -2.44% | 18.55% |
| 1300 | -0.47% | -0.53% | 0.52%  | 1.31%  | -1.10% | 1.09%  | -1.38% | 0.50% | 1.11%  | 0.03% | 0.03%  | -0.92% | 1.82%  | -0.03% | 18.12% |
| 1200 | -1.14% | -1.21% | 1.21%  | -0.63% | -3.46% | 0.21%  | -3.65% | 0.45% | -0.11% | 0.01% | -0.86% | -1.14% | -0.19% | 2.48%  | 27.12% |
| 1100 | 0.09%  | 0.00%  | -0.01% | 2.47%  | -0.53% | 2.41%  | -0.75% | 0.92% | 2.80%  | 0.01% | 0.02%  | -0.41% | 1.68%  | 0.54%  | 13.70% |
| 1000 | -1.02% | -1.03% | 1.03%  | 2.27%  | -1.38% | 0.94%  | -1.51% | 0.23% | 2.99%  | 0.01% | -1.64% | -2.96% | 1.10%  | 0.49%  | 16.01% |

图 2: 发动机外特性工况标定结果

其中 NOx 的标定作为参考, 后续的优化中, 功扭和排放水平应当一致。

通过对整机模型的标定, 模型的精度满足了要求, 可以进行不同增压器之间的匹配和配气相位的优化工作。

### 3 发动机增压器的匹配

增压器的匹配内容主要有两个: 1 由增压器厂家提供了两组不同的增压器, 需要进行选型; 2 增压器的旁通阀开启压力需要进行计算。

通过前期与增压器厂家的沟通, 其提供了两组不同的增压器进行匹配选型, 选型的同时进行旁通阀开启压力的计算。其中, 发动机的动力性不能改变、机械限值需要满足要求、排放水平不变, 进行经济性的优化。关注区域为 1400RPM 转速以下。

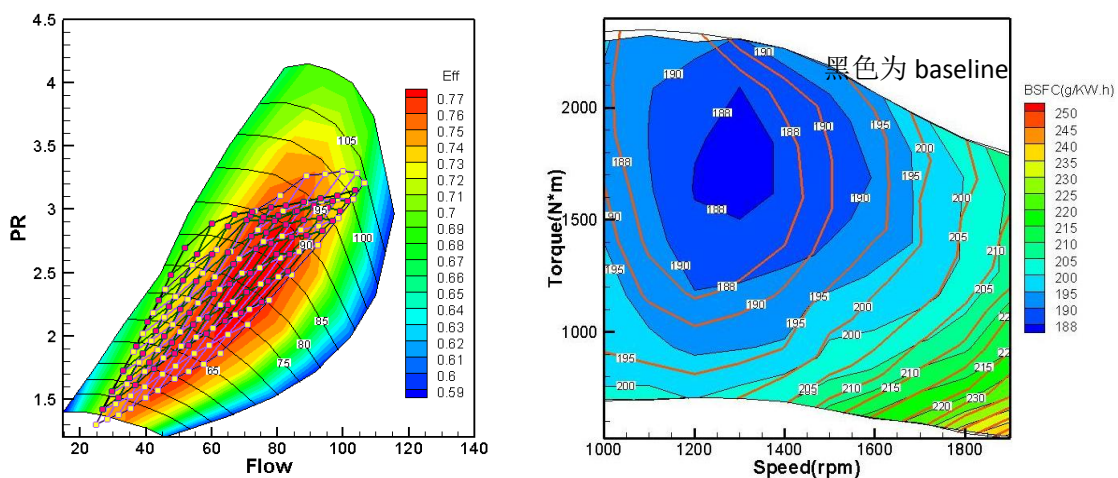


图 3: 匹配 A 型增压器的运行线分布和油耗对比

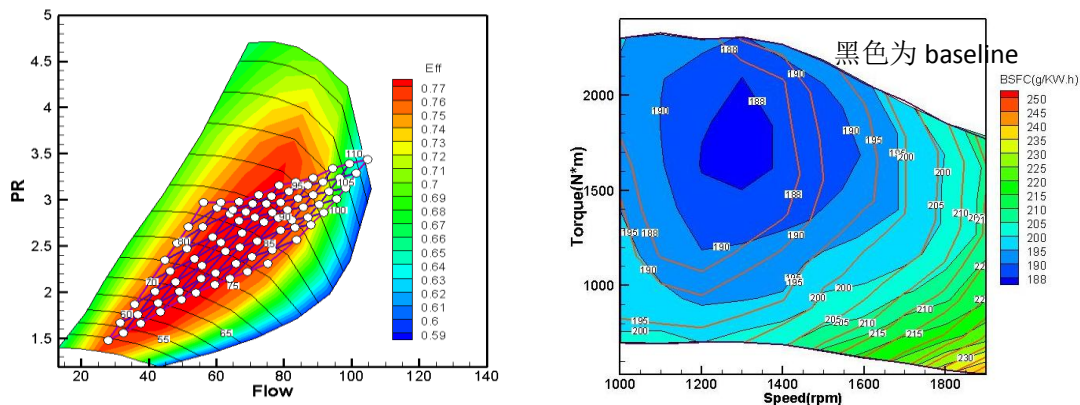


图 4: 匹配 B 型增压器的运行线分布和油耗对比

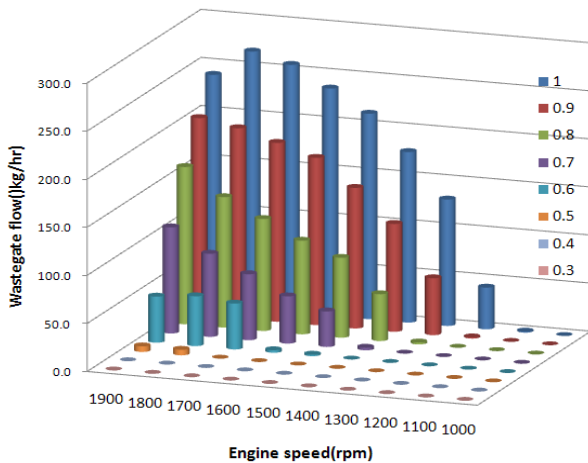


图 5: A 型增压器的旁通阀流量

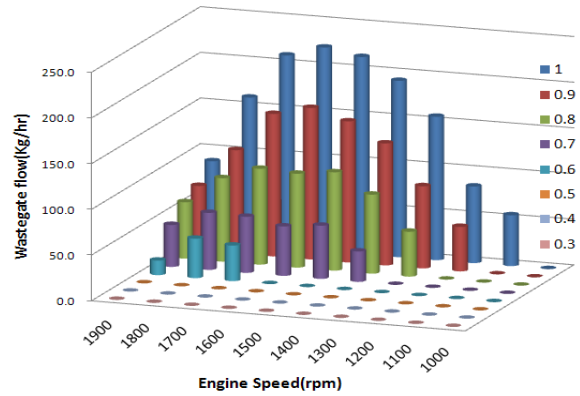


图 6: B 型增压器的旁通阀流量

通过对两个增压器的匹配分析，其中 A 型增压器的旁通阀弹簧预紧力为 307N，B 型增压器的旁通阀弹簧预紧力为 330N；

A 型增压器的匹配过程中，喘振余量较小；B 型增压器的匹配过程中，增压器转速过大，有超速风险；两者在经济性上的提升差不多，综合考虑选择 A 型增压器进行后续的凸轮相位匹配工作和试验验证。

## 4 发动机凸轮相位的匹配

为了最大限度的提升发动机的经济性，精确考虑每个发动机的应用，在匹配了不同的增压器后，进行凸轮相位的调整，达到 1400RPM 转速以下的经济性最大化。

利用 VT-train 进行了相位角的调整最大可能性分析后，定义进气相位正负 10 度，排气相位正负 10 度的变化范围，通过 GT-power 的 DOE 分析工具，进行配气相位的分析。

分析可知，在进气提前、排气延迟的情况下，经济性会有所改善。

下图为配气相位的变化趋势图：

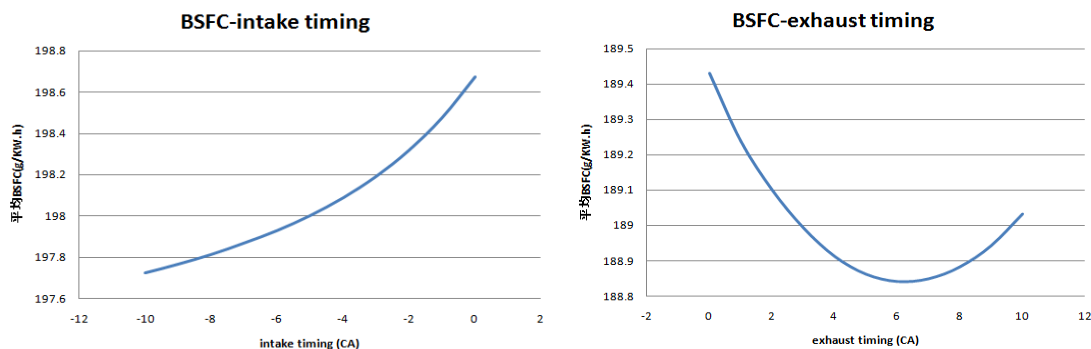


图 7: 平均 BSFC 随相位变化趋势图，选择范围：1000rpm-1900rpm

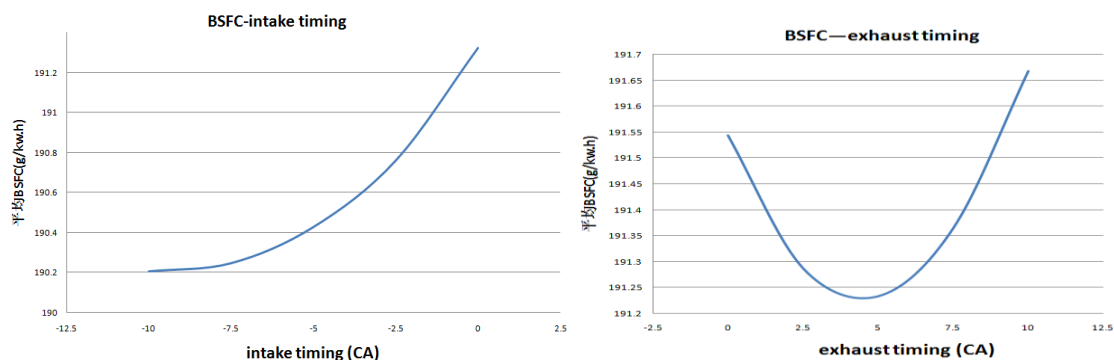


图 8：平均 BSFC 随相位变化趋势图，选择范围：1000rpm-1400rpm

通过对发动机平均 BSFC 随相位变化的趋势图，进行配气相位的选择。从图中可以观察到，随着进气相位的提前，比油耗降低；随着排气相位的延迟，BSFC 先降低到达一定程度后反而升高。

综合考虑所关注的区域和整个工况范围内的经济性变化，选择将进气正时提前 9 度，排气正时延后 5 度。

## 5 试验验证

在分析完成后，选择 A 型增压器，旁通阀开启压力设置为 307N，进气相位提前 9 度，排气延迟 5 度，进行发动机的试验验证。

下图为经济性的验证结果：

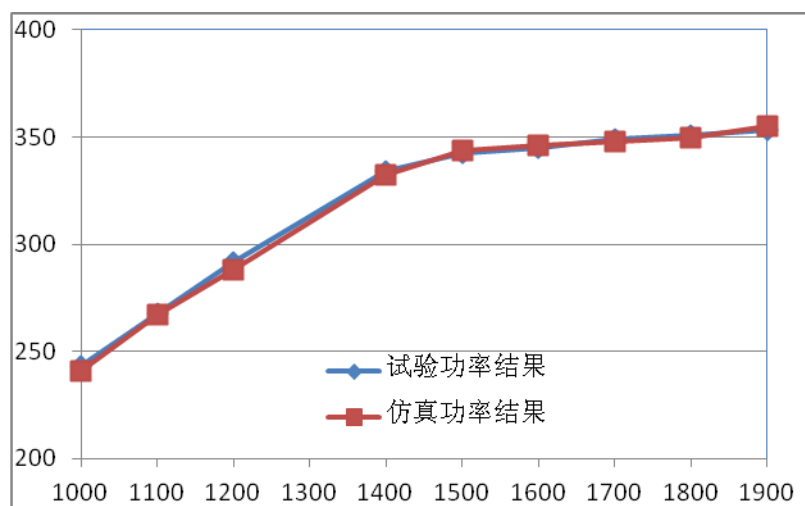


图 9：仿真分析和试验结果的功率对比

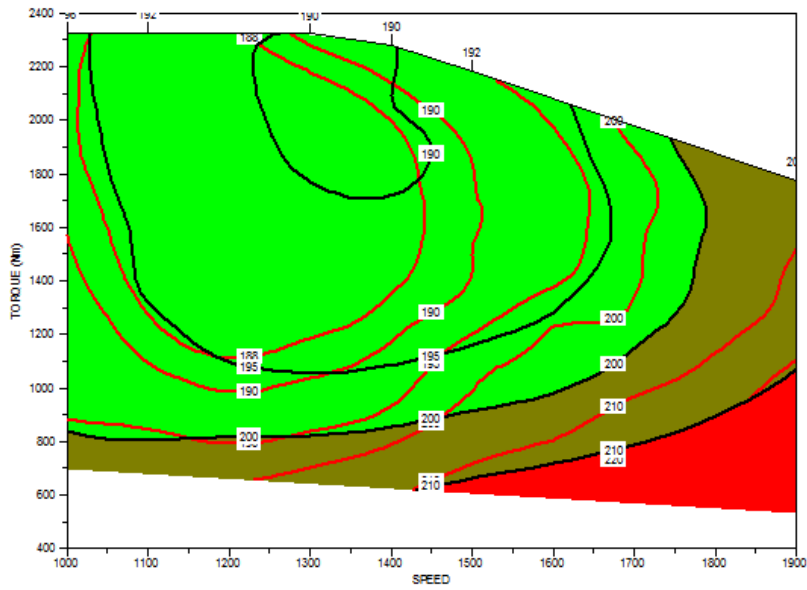


图 10: 经济性优化后的 fuelmap

## 4 结论

本文针对特定使用工况发动机匹配, 完成经济性改善的工作, 提出了优化解决方案。利用 GT-power 模型, 精确的预测了发动机的经济性改善方向和改善结果, 在保证发动机性能不变的情况下, 使经济性有所提升。

## 5 参考文献

- 1 GT-power 帮助文档