

基于 GT-POWER 软件的某大排量发动机性能与排放 开发仿真分析

Simulation analysis for the performance and emission of a big displacement engine based on GT-POWER

王新校 贾德民 高翔

(潍柴动力股份有限公司)

摘要： 基于某大排量发动机国四模型，在进行发动机排放升级过程中，进行热力学仿真计算分析，进行主要硬件的选型计算工作，推荐 VGT 涡轮增压器配置，EGRC 性能，预测发动机油耗、主要工况点的压力、温度等。经过试验验证与仿真结果差距非常小，满足了最终的性能开发和排放开发要求，最终采用热力学计算的推荐方案进行开发，节约了大量的台架资源。

关键词： 发动机、排放升级、性能开发、GT-SUITE、仿真分析、性能预测

Abstract : Based on an EU4 large displacement engine model, thermodynamic calculation and analysis are done to do the selection of hardware, recommend VGT turbocharger ,performance prediction, EGRC performance prediction, BSFC prediction, pressure, temperature of the main operating points in the process of emission upgrading. Through experiment test, the gap between the simulation results and experiment results is very small. The recommended turbocharger fulfill the performance and emission development requirements, saving a lot of platform resources.

Key words: Engine emission upgrade、Performance development、GT-SUITE、Simulation analyses、Performance prediction

1 前言

随着排放法规的升级以及重型卡车燃油经济性的要求越来越高，发动机性能与排放开发变得越来越复杂，发动机硬件配置不断升级，标定工作也变得越来越复杂，在发动机开发过程中，单纯依靠试验进行选型已经无法满足开发进度以及成本的要求，对复杂的高排放发动机开发，概念设计阶段的性能与排放仿真分析工作变得越来越重要，已经变为了发动机厂的核心竞争力。

潍柴采用 GT-power 软件进行发动机性能与排放开发概念设计阶段的工作，进行涡轮增压器选型，EGRC 冷却器设计选型、中冷器性能预测、发动机排放与油耗预测等工作，经过 3 年左右的使用，在发动机开发过程中发挥了重要的作用，已经并入到发动机开发的流程中。

本文介绍潍柴采用 GT-POWER 软件进行的某高排放重型柴油机概念设计阶段的工作，并与后期进行的台架试验结果进行了比对。

发动机排放满足 EU6 法规要求，硬件配置采用 VGT,高压共轨系统，排放控制采用 EGR+SCR+DPF,后处理采用 DOC+DPF+SCR+ASC，发动机详细参数不在此进行说明。

2 排放法规介绍

由于汽车尾气污染越来越严重，排放法规越来越严格，不管是在中国还是欧洲、日本、美国都会实行越来越严格的排放法规，当前中国实施的是国四排放法规，未来要实行 EU6 排放法规，相比国四排放（ESC\ETC），EU6 排放法规（WHSC\WHTC）转速与负荷更接近低速，同时各类排放物的限制进一步降低，因此过排放难度更大，具体比对值如下图所示。

	Durability	Emissions Regulations (g/kW-h)				
Standard	1000 km	CO	THC	NMHC	NOx	PM
Euro IV	500	1.50	0.46		3.5	0.02
Euro V	500	1.50	0.46		2.0	0.02
Euro VI	700	1.50	0.13		0.40	0.01

图 1 各类排放污染物限制

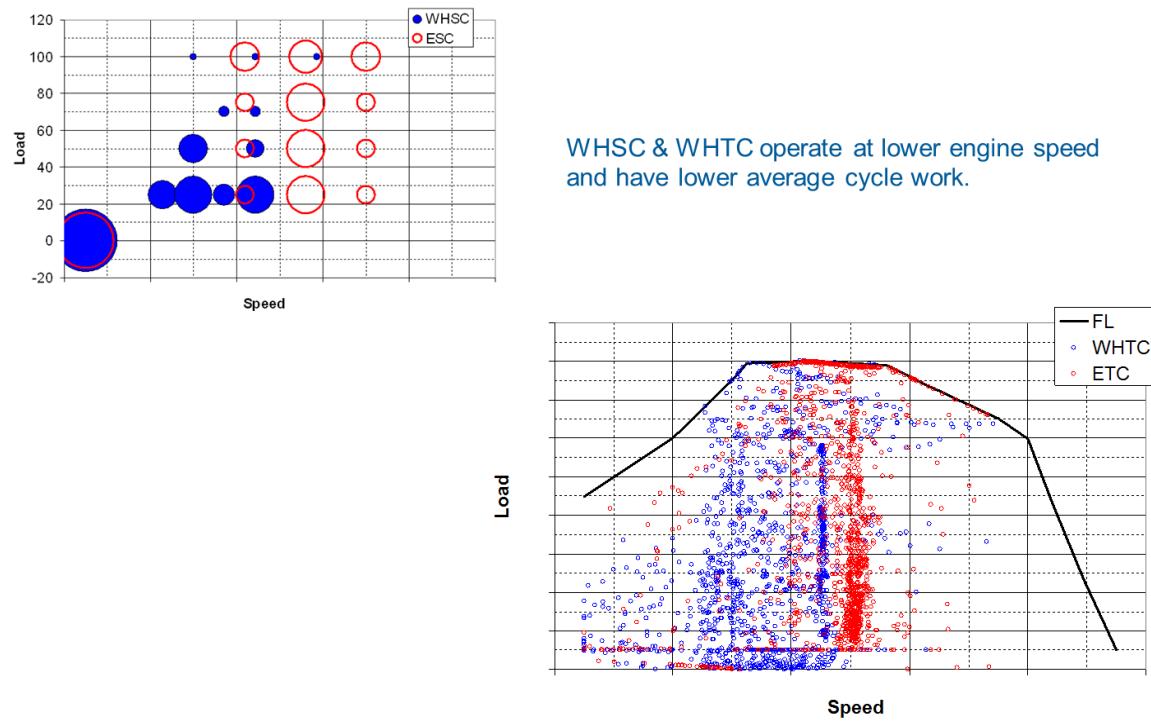


图 1 国四排放法规与国六排放法规对比

2.1 概念设计热力学计算

2.1.1 发动机开发目标分析以及仿真目标分析制定

发在国四排放法规上进行排放和性能升级，模型标定已经在国四的基础上进行，在此不再赘述，为了达到发动机的排放和性能目标，选取了 VGT 涡轮增压器进行开发，VGT 增压器可以达到全工况

驱动 EGR 的目标,同时提供足够的进气量满足发动机性能和油耗的需求,机内 NOx 排放净化靠 EGR,机外靠 SCR 进行 nox 排放净化,在发动机的各个工况点提供足够的 AFR 保证颗粒排放,根据目标排放制定出各个工况点的 EGR 率以及 AFR 目标,为仿真分析提供计算依据。

由于采用 VGT 增压器, VGT 增压器涡端是可变的,需要对开度进行调整满足不同工况的需求,所以计算的时候进行开度调整满足要求,增加了仿真分析的难度,同时 EGR 阀与 VGT 的开度同时影响进气量与 EGR 率,计算过程中需要同时进行调节,达到性能与排放的最优。

缸内计算的燃烧模型采用预测燃烧模型,标定工作不在此进行赘述。

发动机的喷油角度、轨压的调整需要满足开发爆发压力的需求,保证满足发动机可靠性要求。

2.2 概念设计阶段计算结果

基于上面的开发目标进行概念设计阶段的仿真计算,满足项目指定的性能与排放开发目标,EGR 阀流通特性采取供应商提供的数据进行搭建,最终计算结果如下所示。

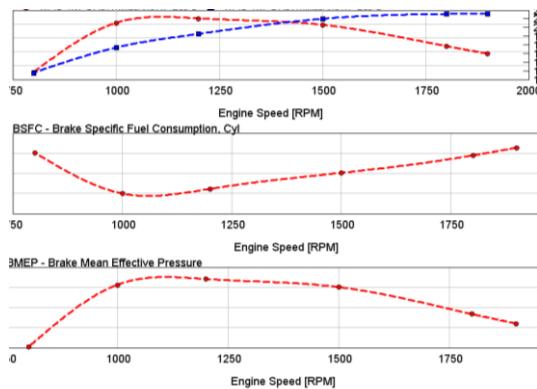


图 2 扭矩、燃油消耗量、bmeep 计算值

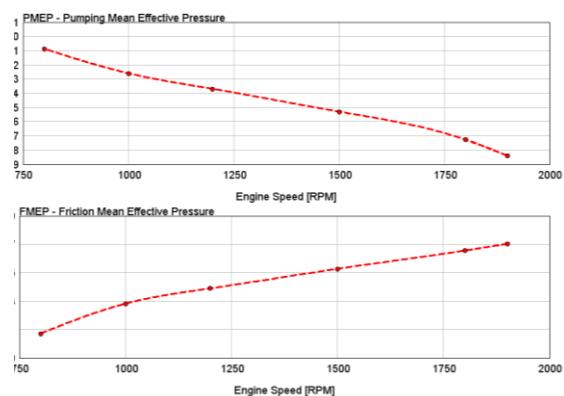


图 3 pmep 与 fmeep 计算值

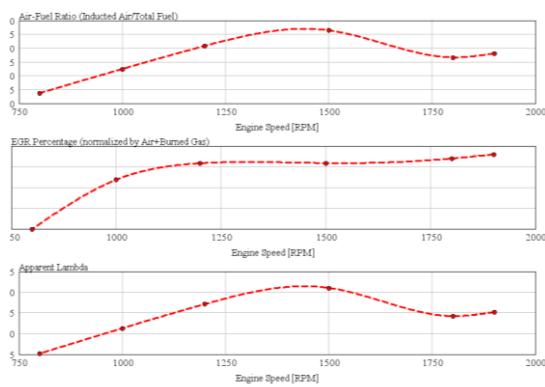


图 4 AFR\EGR 率\lambda 计算值

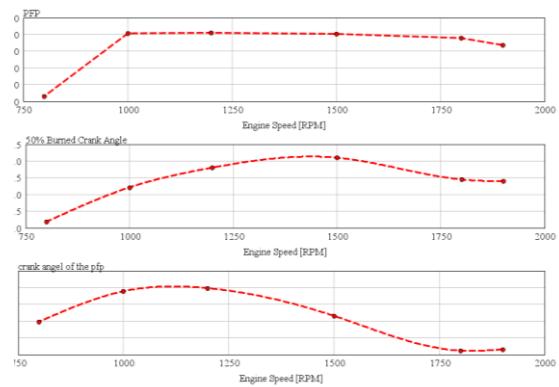


图 5 爆发压力、50% 燃烧角度、最大爆发压力所在曲轴转角

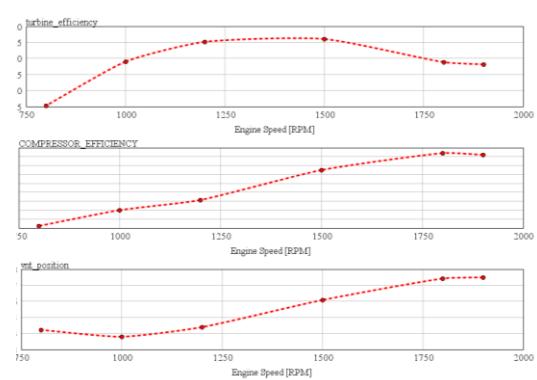
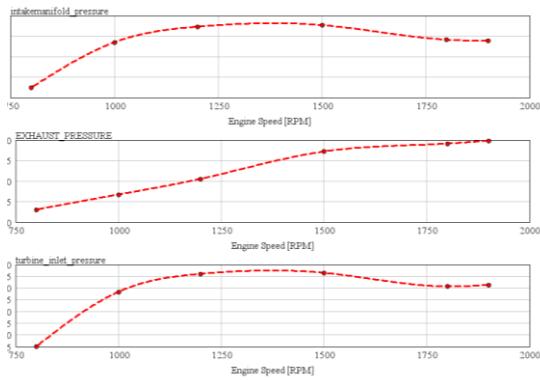


图 6 进气管压力、排气背压、涡轮进口压力计算值 图 7 涡轮效率、压气机效率、VGT 开度

通过上面的计算，通过涡轮增压器开度调整、EGR 阀开度调整，轨压与喷油提前角的调整，达到了开发目标，保证发动机排放和性能目标达到开发要求。

2.3 最大爆发压力分析，EGRC 匹配输入分析

由于发动机初始的设计爆发压力偏高，为了后期生产的可靠性要求，进行了爆发压力对油耗的影响分析，根据计算结果确定最终的爆发压力标定目标值，将爆发压力下调了 10bar，计算结果如下。

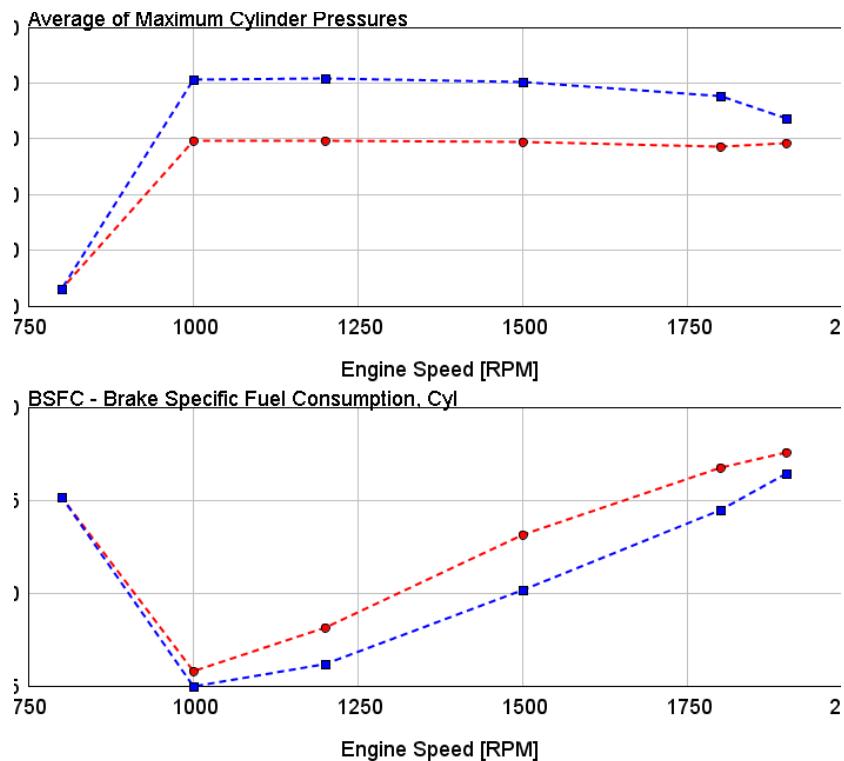


图 8 不同爆發压力下的油耗比对

计算结论：通过计算可以看到，爆發压力降低后，对低速的影响较小，对高速的影响较大。通过权衡发动机的常用工况区，决定采用高爆發压力进行后期的设计和标定。

由于带有 EGRC，通过热力学计算同时提供给出 EGR 冷却器的设计输入，供冷却器供应商进行设计。

3 后期试验数据与仿真数据对比分析

后期进行了台架试验验证, 将试验结果与仿真结果进行比对, 比对后的结果如下所示:

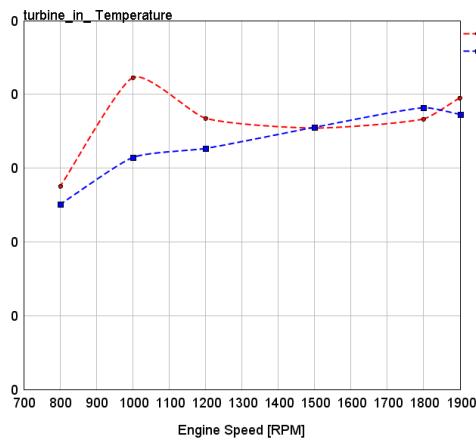


图 9 涡前温度计算值与试验值比对

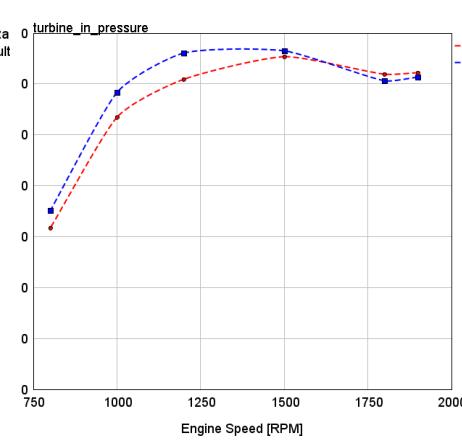


图 10 涡前压力计算值与试验值比对

分析: 在低速 1000rpm 的时候, 涡前温度计算误差稍大, 在 50K 左右, 其余转速的精度都非常高, 在 25k 以内, 达到了很高的预测精度。

主要工况点的涡前压力最大误差在 20kpa 左右, 满足计算精度的要求, 高速工况点的计算精度非常高, 基本与试验值相同, 达到了工程应用的需要。

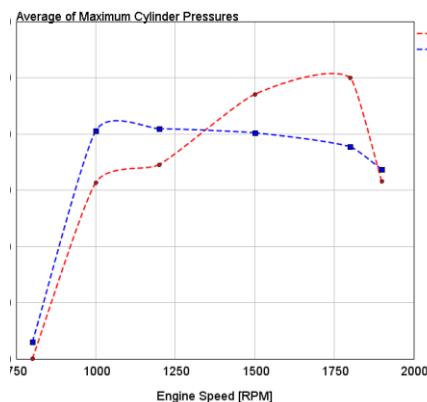


图 11 爆发压力计算值与试验值比对

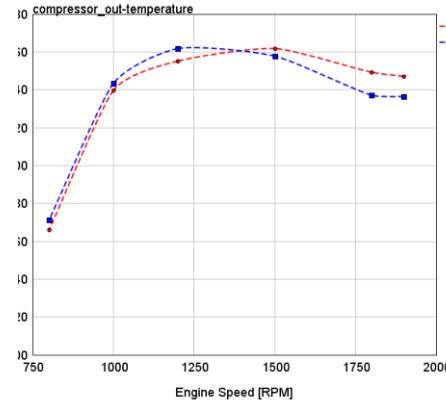


图 12 压气机出口温度计算值与试验值

爆发压力计算值与试验值最大在 10bar 左右, 达到了计算精度的要

压气机出口温度计算值与试验值最大误差在 15k 左右, 达到了很高的计算精度, 满足计算要求。

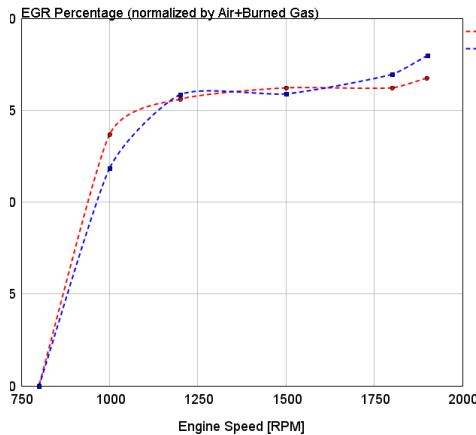


图 13 EGR 率计算值与试验值

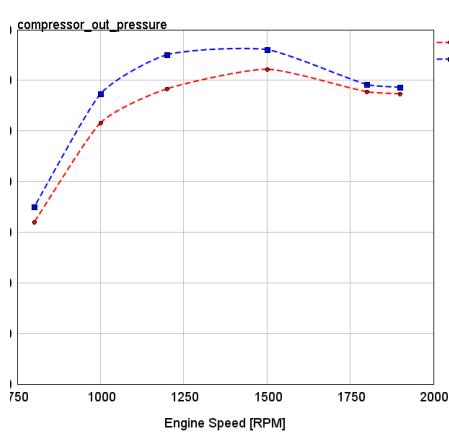


图 14 压气机出口压力计算值与试验值

通过计算可以看到，最大误差在 20kpa 左右，满足精度要求。

通过标定，EGR 率可以达到了计算目标，两者相差很小。

通过试验验证，可以看到计算的精度完全满足工程应用的需要，经过试验验证，最终选择了热力学计算推荐的方案进行发动机开发，节约了大量硬件选型试验的时间，节约了开发成本。

总结

GT-SUITE 软件能够计算非常复杂的发动机开发计算任务，计算精度能够很好的满足计算的要求，在发动机开发过程中发挥了重要作用。

GT 软件在潍柴的研发体系中发挥了重要的作用，节约了大量的试验经费，大大提高了研发的效率和精度。

GT 软件是一个开放的软件，给工程师留下了很大的操作空间，可以进行非常复杂的设置和不同方案的验证，能够很好的满足工程研究的需要。

参考文献

- [1] GT-SUITE 软件帮助 GAMMA 公司 2013 年