

某款发动机的热力学性能分析

拓海东 贺翀 康艳伟

海马汽车有限公司

摘要: 利用 GT-ISE 软件对某款增压汽油发动机进行热力学性能仿真。主要进行了增压器的选取、中冷模型的建立和发动机性能的优化。并通过后期试验验证, 确认计算结果是合理可信的。

关键词: 汽油机 GT-ISE 优化设计 试验验证

ABSTRACT: A turbocharger engine thermodynamic performance model was established by using GT-POWER software. The main tasks were the selection of the turbocharger, establishing the intercooler model and performance improvement. Finally we tested the engine on the bench, and make sure the gas exchange simulation results were reasonable and credible.

Key words: Turbocharger Engine GT-ISE Optimization Design Experiment Verification

1 概述

废气涡轮增压技术是提高发动机动力性、经济性的一种有效方法。要实现这一目标, 必须使发动机与涡轮增压器实现良好的匹配。传统的试验方法周期长且成本高, 采用先进的模拟仿真技术可以大大减小试验次数, 缩短开发周期、降低成本。

本次仿真主要是对公司自主开发的某款涡轮增压发动机进行热力学性能计算及增压器选型匹配, 通过计算后, 选取合适的增压器, 而后进行发动机性能开发, 并对仿真计算与试验测试进行对比分析。

2 基本理论

GT-power 是基于二维气体动力学原理, 在管路和其相关模块中以流动和传热理论为基础, 在特殊模块中应用液体流动和传热能力分析理论。流动模型同时包括连续方程、动量方程和能量方程。

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。

相关原理及方程如下:

$$\text{连续方程: } \frac{dm}{dt} = \sum m_{flx}$$

$$\text{能量方程: } \frac{d(me)}{dt} = \sum(m_{flx} \bullet H) + p \frac{dV}{dt} - hA_s(T_{fluid} - T_{wall})$$

$$\text{焓方程: } \frac{d(\rho HV)}{dt} = \sum(m_{flx} \bullet H) + V \frac{dp}{dt} - hA_s(T_{fluid} - T_{wall})$$

$$\text{动量方程: } \frac{d(m_{flx})}{dt} = \frac{dpA + \sum(m_{flx} \bullet u) - 4C_f \frac{\rho u^2}{2} \frac{dxA}{D} - C_p(\frac{1}{2} \rho u^2)A}{dx}$$

式中, m_{fl} : 边界处的质量流量, $m_{fl} = \rho Au$;

m: 单位体积的质量;

V: 体积;

p: 压力;

ρ : 密度;

A: 流通截面积;

A_s : 热传递表面积;

h: 热传递系数;

e: 单位质量总内能 (等于内能加动能);

H: 总焓, $H = e + \frac{p}{\rho}$

T_{fluid} : 流体温度;

T_{wall} : 壁面温度;

u: 边界处流速;

C_f : 表面摩擦系数;

C_p : 压力损失系数;

D: 当量直径。

3 模型建立

3.1 基本参数

发动机基本参数如下表 1。

表 1 发动机基本参数

参数	数值	单位
缸数	3	—
排列方式	In Line	—
进气方式	增压中冷	—
喷油方式	直喷	—
点火顺序	1-2-3	—
排量	1.2	L
额定功率	—	kW/rpm
最大扭矩	—	Nm/rpm
燃料类型	92#汽油	—

3.2 边界条件的确立

环境边界条件和空燃比按经验数据输入。

涡轮增压器是供应商提供的, 经过前期初步分析, 涡轮增压器选择压气机型号: C3, 涡轮机

型号: T2。

节气门流量系数的选取: 由于只进行全负荷计算, 取经验数据 0.9。

进排气道的流量系数采用 CFD 分析后得到的流量系数直接输入。

发动机的摩擦损失, 按照经验数据输入。

中冷的温降和压降参考经验数据选取, 在模型中采用一个 PID 控制器控制中冷前后的压降。

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及标定仿真模型。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, 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-ISE 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。

3.3 发动机模型的建立

根据以上主要参数和边界, 建立模型如图 1 所示。

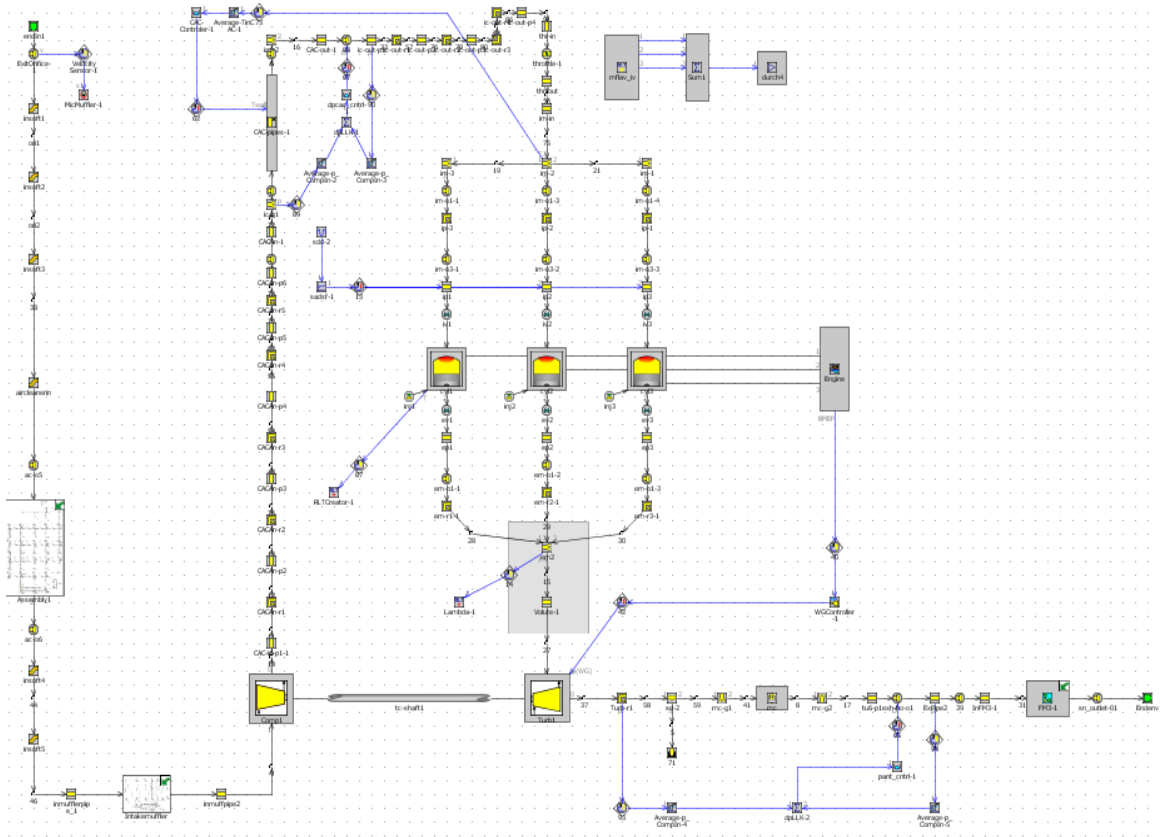


图 1 计算模型

4 计算结果

发动机的扭矩、功率、油耗、增压器匹配、增压器转速和涡前温度等计算结果如下图 2 所示。

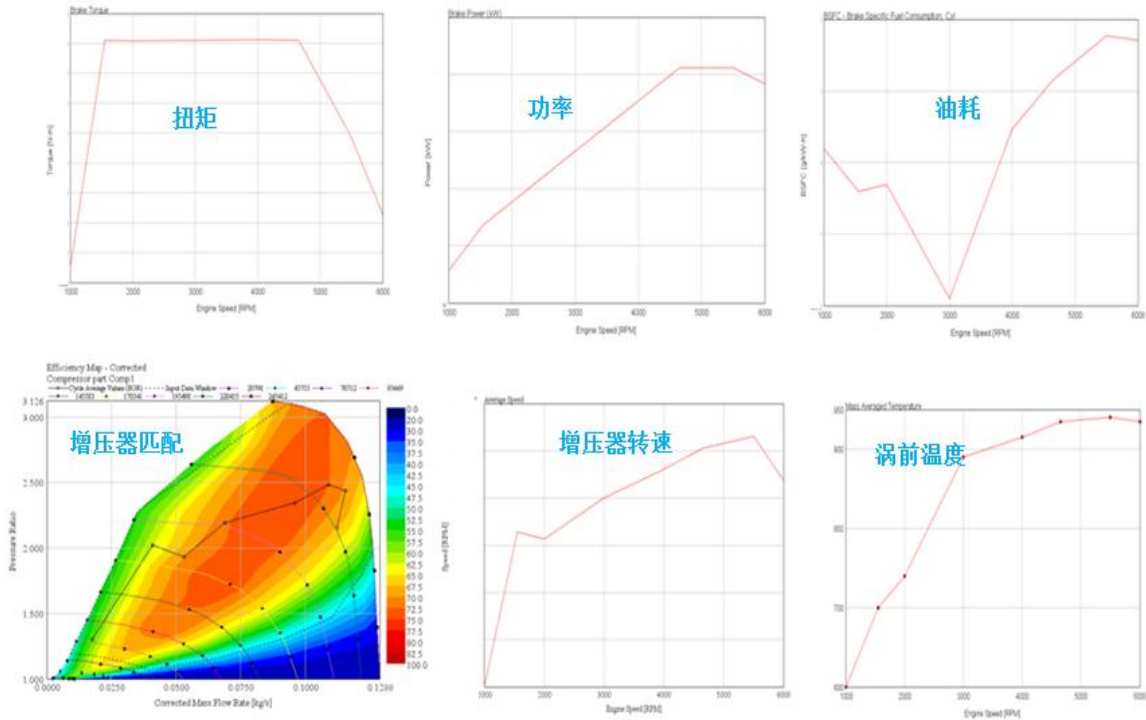


图2 主要计算结果

发动机的扭矩和功率如上图所示,满足设计指标。发动机与增压器联合运行线也是比较合理的,既没有喘振也没有阻塞,并且裕量也比较多,还有联合运行线也穿过了压气机的高效率区。同时增压器最高转速小于允许的最高转速,涡前温度小于材料允许的最高温度,满足设计要求。

5 试验对比

根据以上计算结果选取的增压器方案进行装机试验,试验设备采用的是进口 AVL 测功机,在发动机进排气系统上布置有很多个温度压力传感器,用来保证试验边界条件和计算时是一致的。主要测定发动机功率、扭矩、油耗、进排气管路上的温度和压力等参数。并且主要测量了 1000rpm、1500rpm、4500rpm、和 5500rpm 这些关键点。主要的测量结果如下图 3 所示。

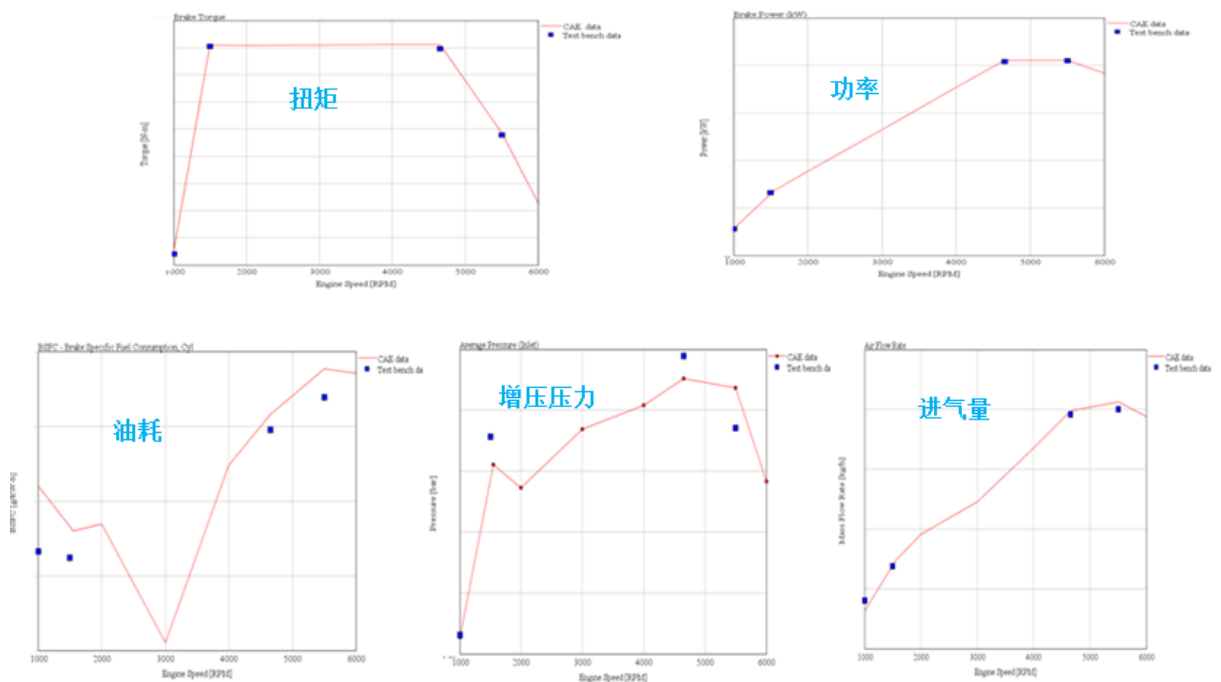


图 3 试验结果对比

由以上对比结果看出，发动机功率、扭矩和进气量的仿真值和试验值差别很小，且都满足设计指标。而对于油耗和增压压力，仿真计算结果与试验值有一定的差别，但是差别不大，都在合理的范围内。

6 结论

- 1 利用 GT-ISE 建立发动机模型，进行相应的仿真计算，为后续发动机的开发提供参考；
- 2 仿真计算结果与试验测试结果很接近，仿真误差很小，GT-ISE 软件能很好的支持发动机热力学性能的开发。

7 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-ISE 帮助文档