

应用 GT-POWER 进行发动机性能预测及配气相位优化

Engine Performance prediction and Valve Timing optimization in GT-Power

苗瑞刚

江铃汽车股份有限公司 发动机开发部

摘要: 由于发动机全新开发的需要,应用 GT-POWER 进行性能计算的建模,利用已有的边界条件,选配合适的增压器,对发动机性能作出预测,确认开发机型满足动力性、经济性等项目定义的指标的要求,进一步确认系统中相关零件如中冷器, EGR 冷却器的性能参数。之后利用得到的模型进行配气相位的优化,针对充气效率,燃油消耗率得到合适的气门升程曲线,用来支持零部件的开发。

关键词: 发动机 性能预测 增压器匹配 配气相位优化 GT-Power

1 引言

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。

2 基于 GT-POWER 的发动机建模和计算

GT-power 是一款功能强大的 CAE 软件,可以用来计算与发动机相关的各种参数。目前在工程中应用最广泛的途径就是选择出与发动机相匹配的增压器,同时满足动力性,经济性,可靠性等各个方面的综合要求,同时利用准确的模型对发动机的进气系统,配气相位进行优化,减少大量的后期台架试验,节约了开发成本。

2.1 确定边界条件

在项目定义阶段,根据原型样机状态和开发目标,确定发动机边界条件:

气道流量系数通过实验测得;

气门升程曲线由仿真计算得出;

进排气系统模型参数由 CAD 数据得到。

缸内放热率曲线利用 CFD 软件结合经验数值计算得出:

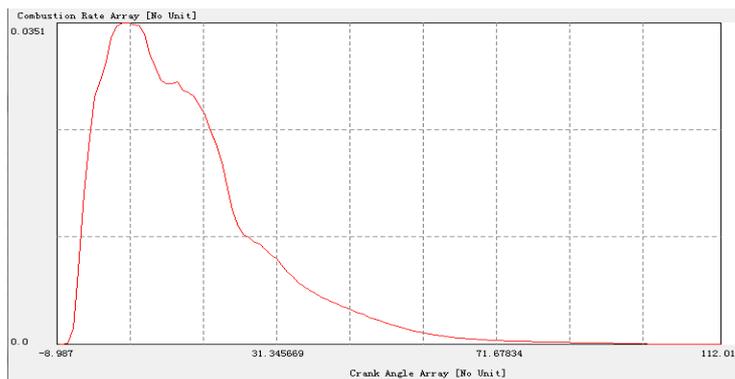


图 1 2800rpm 时放热率曲线

表 1 发动机基本参数

缸径	95mm	最大缸内压力	160bar	
冲程	102mm	发动机摩擦功	1.74bar@2800rpm	
压气机前压力损失	35mbar@2800rpm	涡轮进口温度	780°C@2800rpm	
压气机到进气道压力损失	110mbar	压气机出口温度	170°C@2800rpm	
排气管压力损失 (包括 DPF 等)	350mbar @2800rpm	中冷器出口温度	45°C@2800rpm	
EGR 冷却器出口温度		172°C@2800rpm		

2.2 建立模型

- 利用软件中已有的模块和边界条件建立发动机模型，建立满足边界条件的模型。

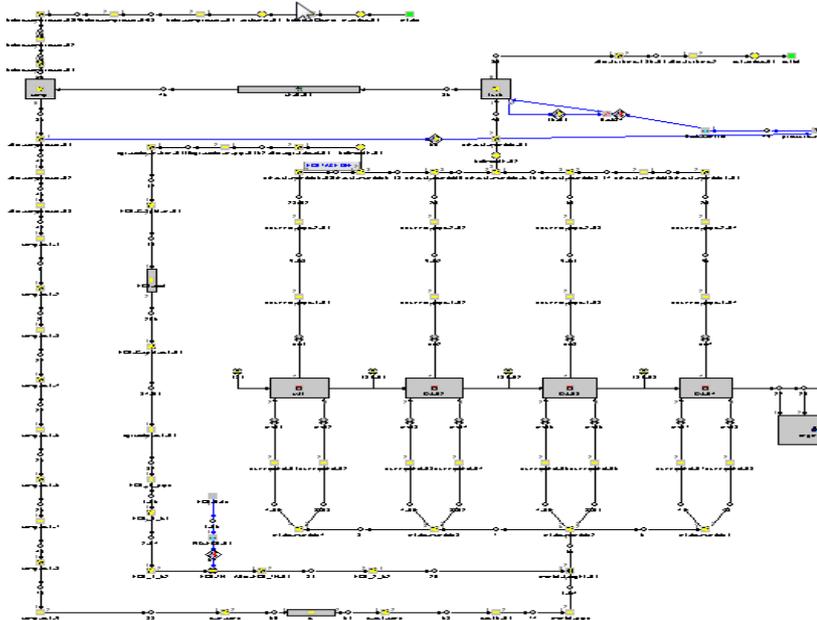
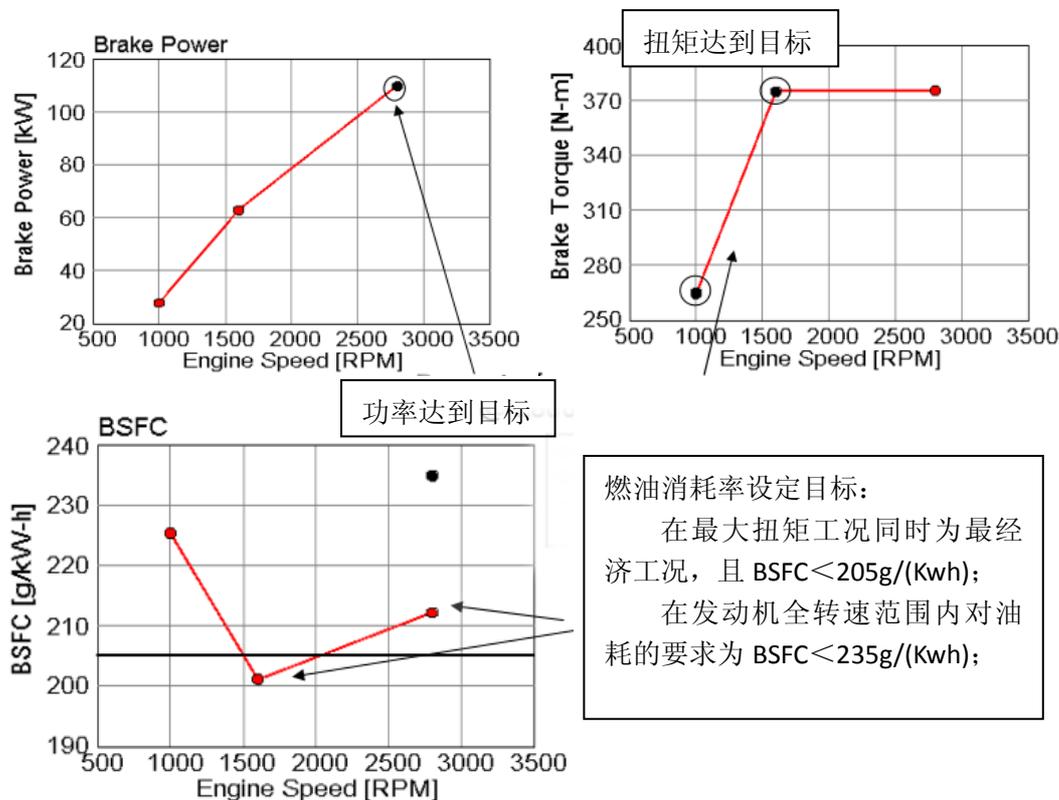


图 2 GT-Power 模型

2.3 计算结果

• 通过建模计算，得到满足要求的模型。全负荷状态下部分结果如下图所示：



同时可以根据模型得到中冷器的冷却效率，EGR 冷却器的边界条件，增压器的进出口温度压力边界，后处理系统的背压，作为各个零部件的设计基准，在此不再赘述。

3 增压器匹配

匹配增压器是发动机设计的重要工作。选择范围为两款增压器（为 TC-和 TC-B），分别将压气机和涡轮机的数据输入模型中，比较压气机运行线和涡轮机运行线，对比目标要求，选择适合的增压器。

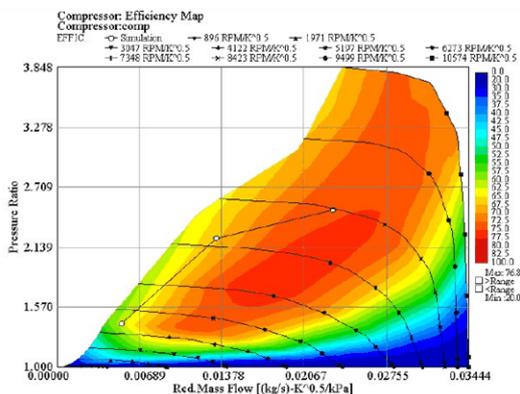


图 2 压气机运行线(TC-A)

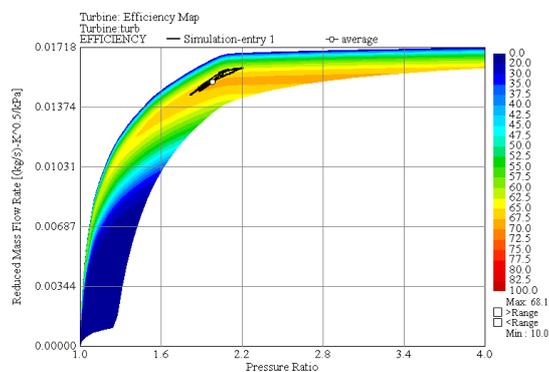


图 3 涡轮运行线 2800rpm@rated point) (TC-A)

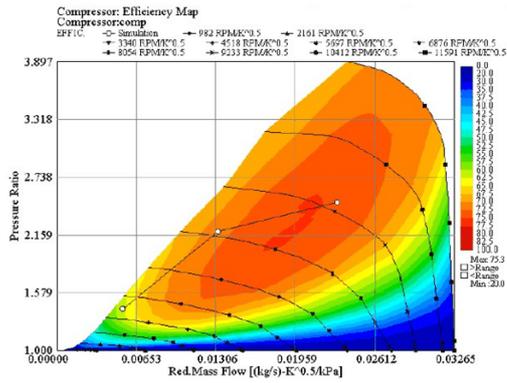


图 4 压气机运行线(TC-B)

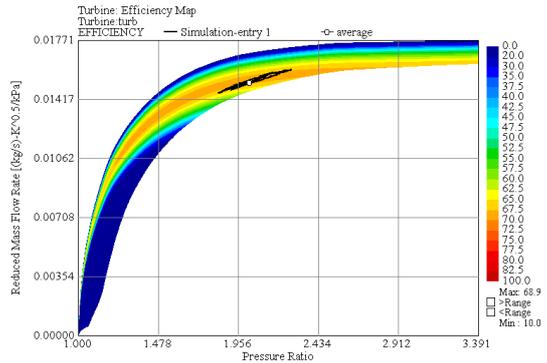


图 5 涡轮运行线 2800rpm@rated point) (TC-B)

考察分别利用以上两款增压器计算出的其他发动机性能指标对比增压器优劣:

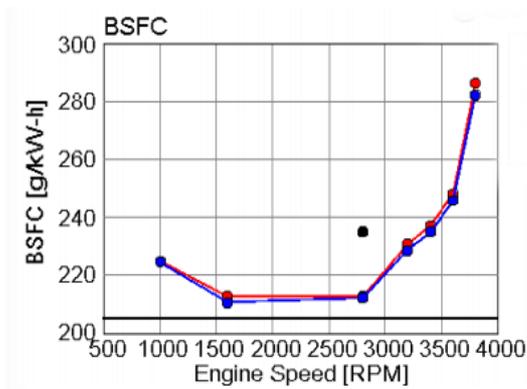


图 6 BSFC 对比

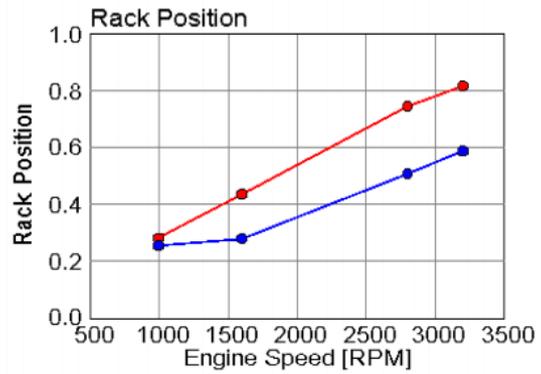


图 7 泵气损失对比

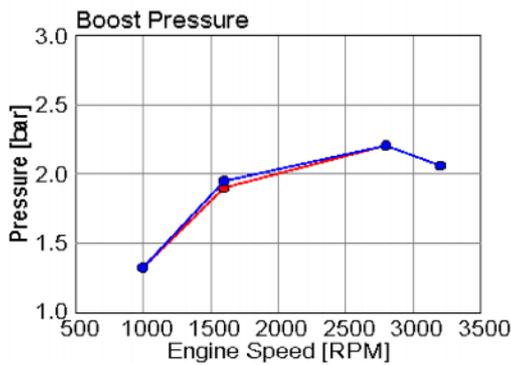


图 8 增压压力对比

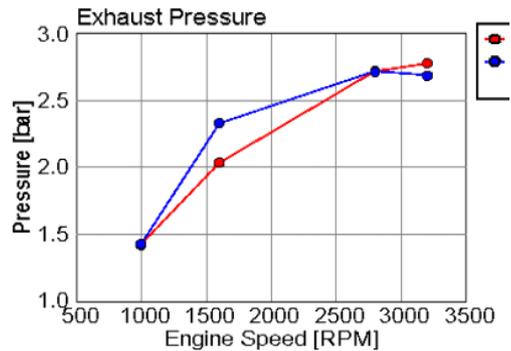


图 9 排气压力对比

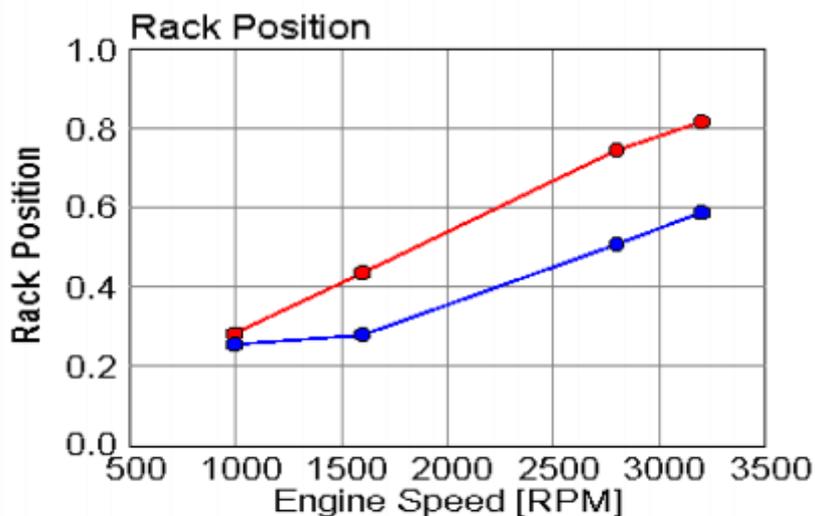


图 10 涡轮增压器可变喷嘴环位置对比 (红色 TC-A, 蓝色 TC-B)

通过以上计算可以看到, 两款增压器性能差距相若, 其中 TC-B 在油耗、泵气损失方面有稍好的表现, 综合考虑成本和性能的因素, 选择 TC-B 为适合本机型的增压器。

4 进气系统优化

利用得到的模型, 更改进气系统中的相关参数, 对原始样机的进气系统进行优化。

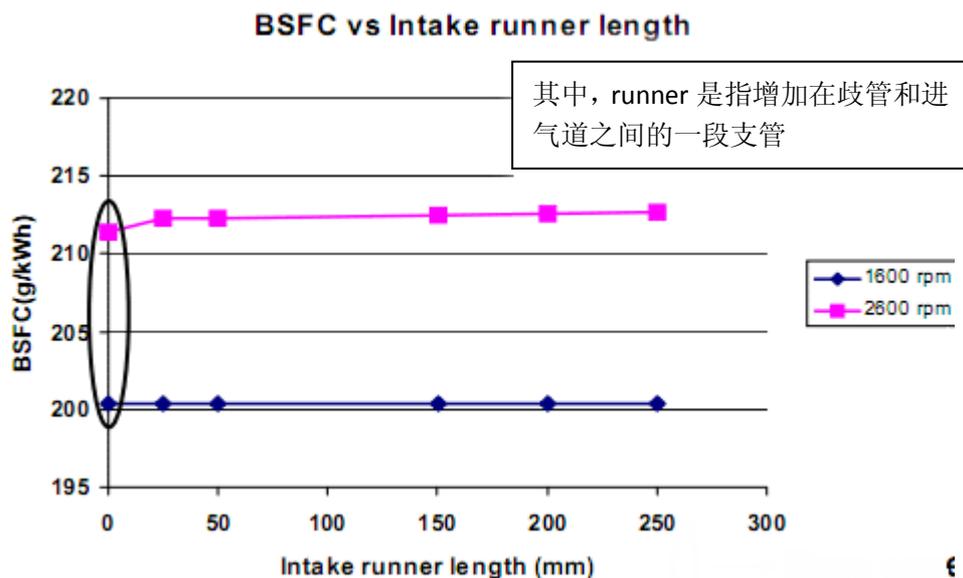


图 11 对进气通道的优化

图中标记出的部分是原型样机的参数, 以燃油消耗率作为优化目标, 计算结果显示不需要增加一段多余的进气通道。

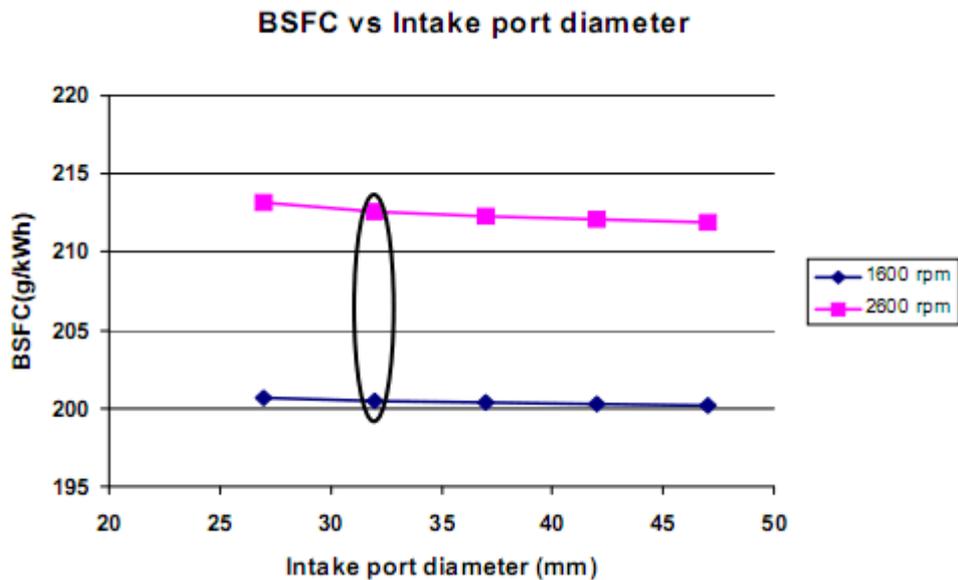


图 12 进气道直径优化

图中标记出的部分是原型样机的参数，以燃油消耗率作为优化目标，进气道直径选择越大越好，当然应该结合实际工艺及性能选定合适的进气道直径数值。

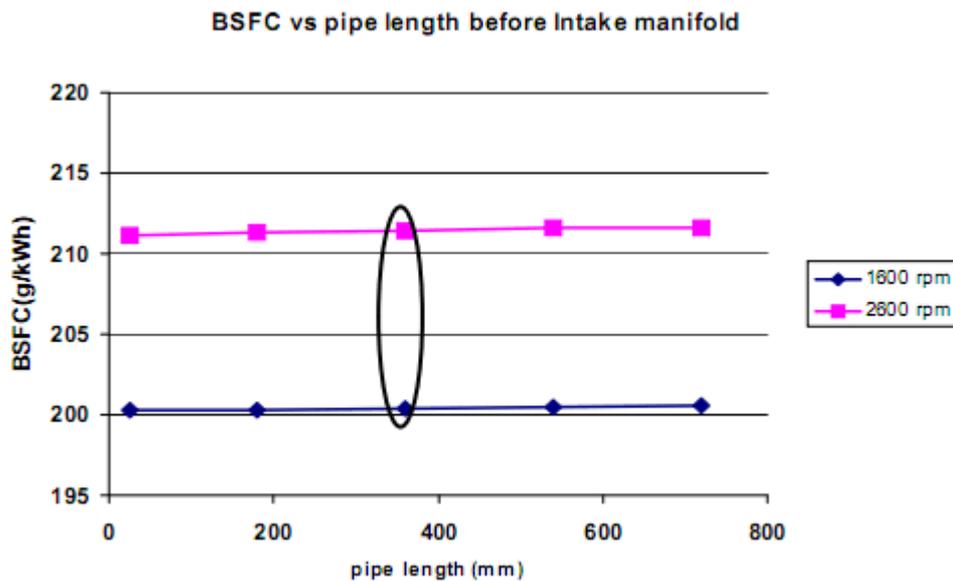


图 13 进气前管的优化

图中标记出的部分是原型样机的参数，以燃油消耗率作为优化目标，进气前管的长度增长，效果变差，因此在发动机布置允许的情况下可以尽量缩短这一路管道的长度。

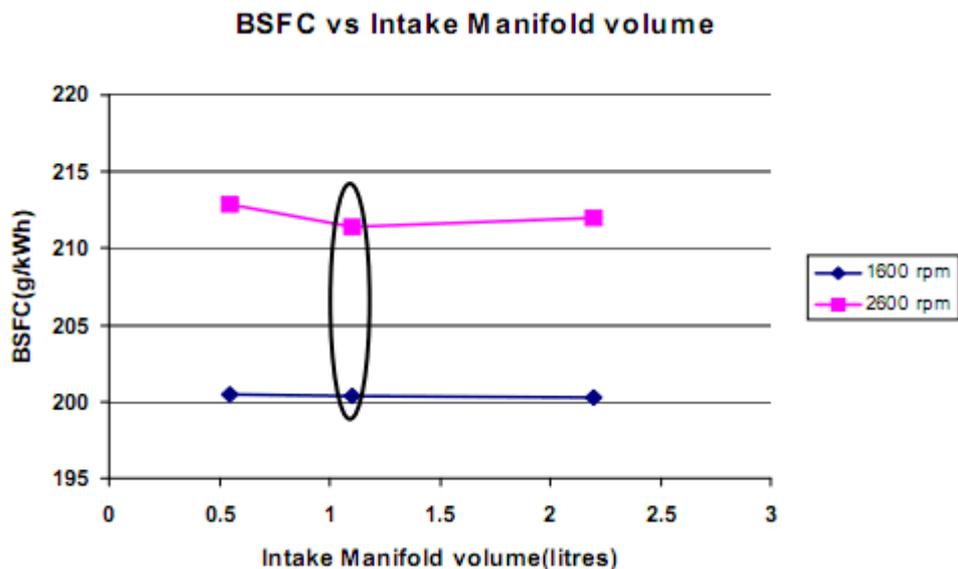


图 14 进气歧管容积腔优化

图中标记出的部分是原型样机的参数，以燃油效率作为优化目标，增大和减小稳压腔的容积都会对容积造成负面的影响，保持现有状况就是最优化选择。

5 配气相位的优化

GT-Power 提供了多种方法对发动机进行优化，下面将使用 DOE 工具对发动机的配气相位进行优化。

初始气门正时为：配气正时：IVO 290°、IVC 642°、EVO 74°、EVC 430°。取 IVO、EVO、exhaust-angle-multiplier (EAM) 以及 IAM 作为变量，以 ±20° 曲轴转角未变化范围，以 2800rpm（标定点）为计算工况，得到如下计算方案（部分）：

Parameter	EVO	IVO	EAM	IAM
Units	Crank Angle (4-str... ▼	Crank Angle (4-str... ▼		
Label				
1	72.0000	288.000	1.00000	1.00000
2	88.0000	280.000	1.00000	1.02247
3	60.0000	268.000	1.03333	1.00000
4	92.0000	304.000	1.00000	0.955056
5	68.0000	308.000	1.06667	0.955056
6	72.0000	284.000	1.05556	1.06742
7	72.0000	288.000	0.944444	0.943820
8	84.0000	284.000	0.977778	1.06742
9	69.5714	285.571	1.01799	1.01819
10	76.0000	272.000	0.955556	1.07865
11	60.0000	308.000	1.02222	1.00000
12	56.0000	304.000	1.00000	0.966292
13	92.0000	288.000	0.911111	0.943820
14	92.0000	268.000	1.00000	1.11236
15	76.0000	308.000	1.01111	0.887640
16	89.0000	292.048	0.955026	1.00000
17	88.0000	308.000	0.900000	0.943820

图 15 DOE 得到的计算工况（部分）

经过计算得到如下针对燃油消耗率的结果：

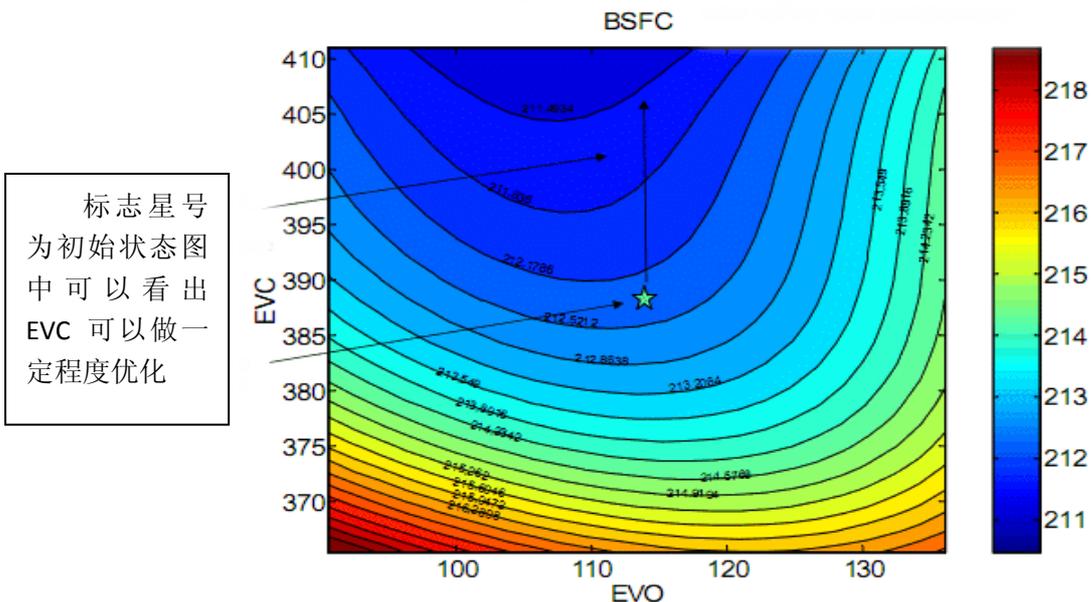


图 16 针对油耗的优化结果

上图是油耗随 EVC 增大会有 0.5%的降幅。其中 IVO、IVC 保持基准值不变。

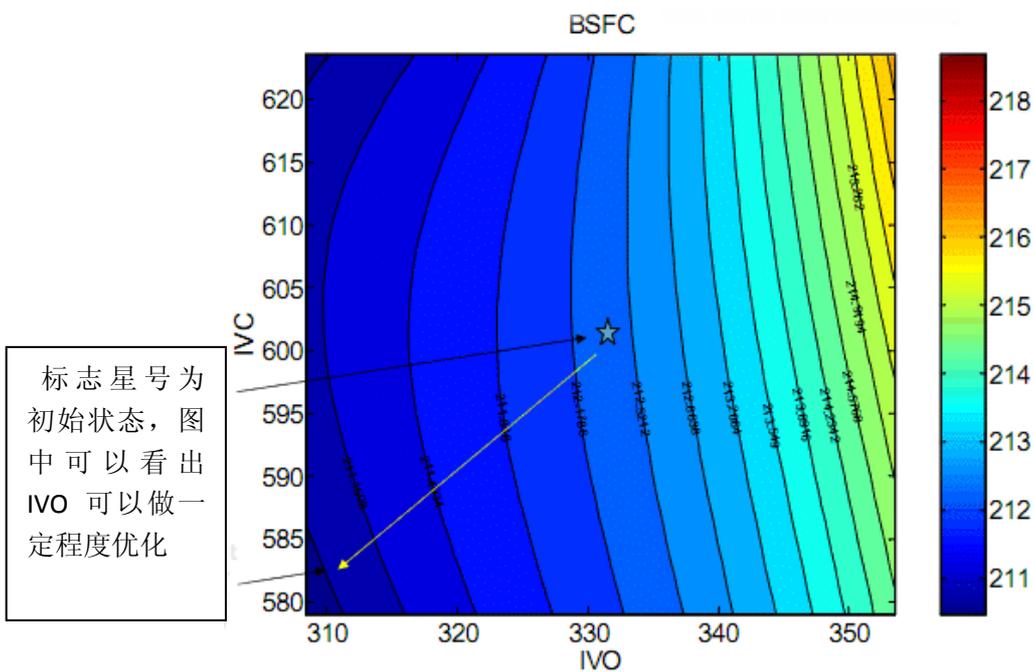


图 17 针对油耗的优化结果

上图显示油耗随 EVC 增大会有 0.5%的降幅。其中 EVO、EVC 保持基准值不变

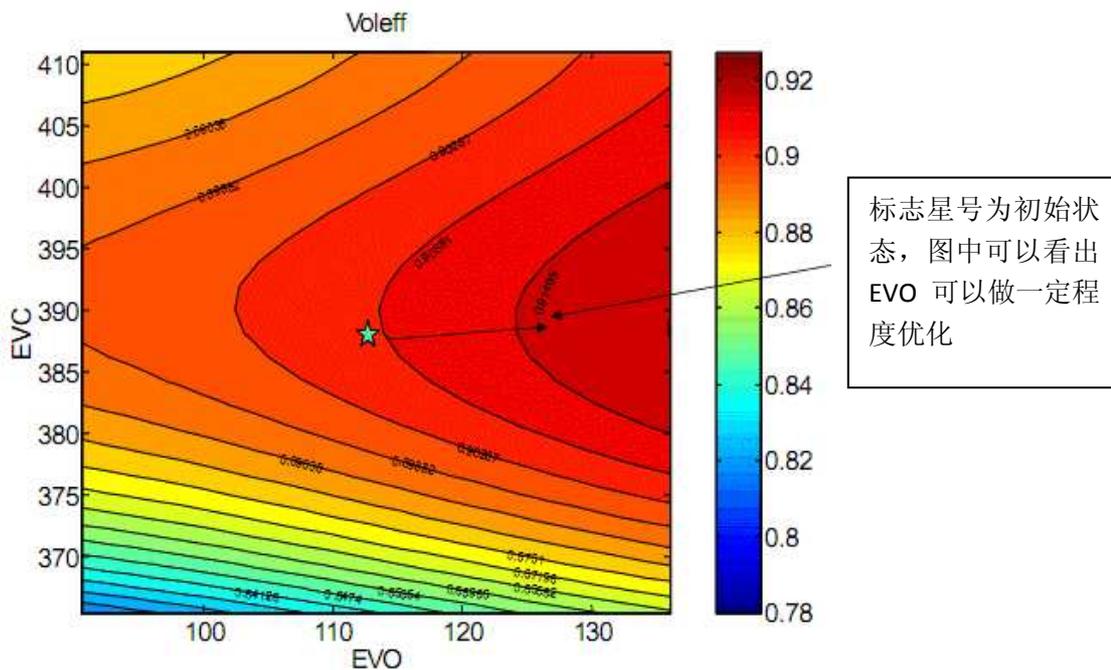


图 18 针对充气效率的优化结果

上图显示充气效率随 EVO 增大会会有 0.5% 的降幅。其中 IVO、IVC 保持基准值不变。

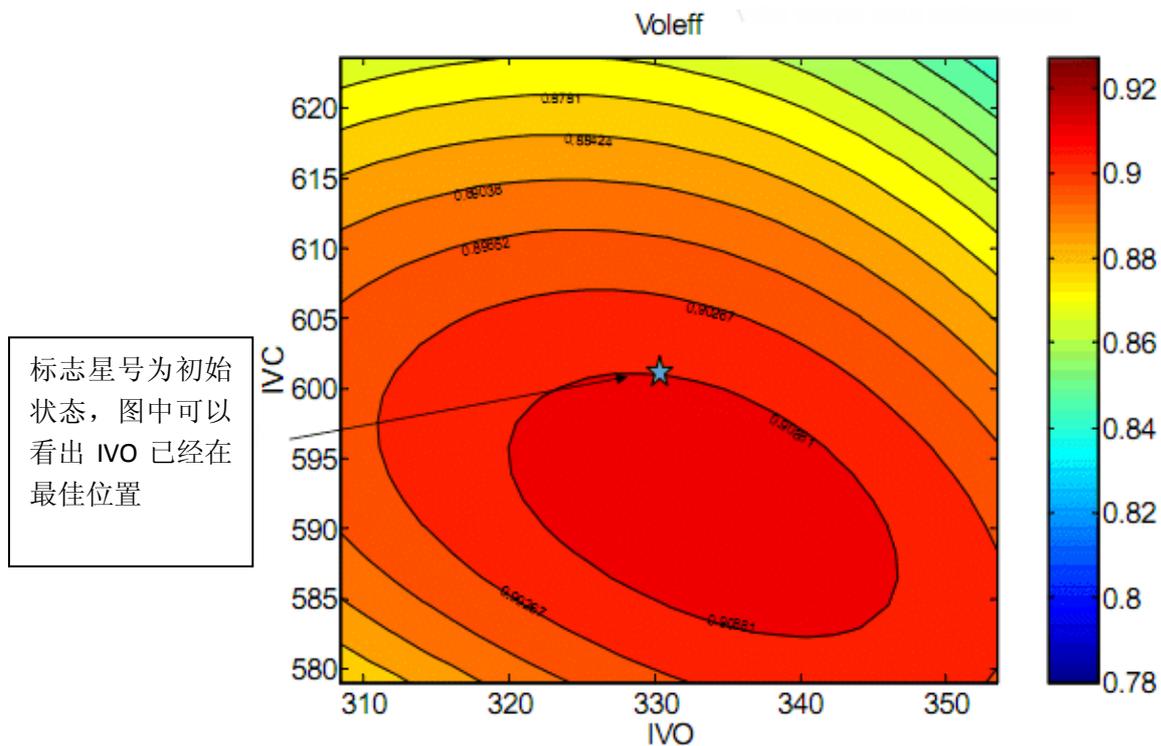


图 19 针对充气效率的优化结果

上图显示充气效率随已经处在最佳位置，不需要变更。其中 EVO、EVC 保持基准值不变

6 结论

1. 利用 GT-POWER 建立了发动机模型，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. 利用模型进行增压器匹配对比计算，选配了合适的增压器；

3. 对进气系统进行了优化，选择合适的进气系统尺寸；

4. 对配气相位进行了优化，通过计算得到初始配气相位处在较为理想的位置，未作变更。

7 参考文献

[1] GT-suite 帮助文档。