

基于 GT-power 和 modeFRONTIER 柴油机进气特征参数提取

Study on diesel intake system characteristic parameters based on GT-power and modefrontier model

卞尔保

中国北方发动机研究所

摘 要: 建立了某柴油机整机 GT-power 模型, 首先对模型进行了标定, 再与 modeFRONTIER 耦合建立联合仿真模型, 采取合适的计算策略, 进行了整机性能计算, 对各参数对增压柴油机性能的影响权重进行了分析, 提取出对特定性能指标影响较大的特征参数。增压柴油机进气特征参数的合理提取应该满足相应柴油机全工况的工作特性。为了简化, 报告是在各柴油机标定工况下完成相应进气特征参数提取研究的, 可为整机其它工况下的进气特征参数提取提供参考。

关键词: 柴油机; 特征参数; 仿真; modeFRONTIER; GT-POWER

Abstract: Built and calibrated a diesel 1D GT-power model. A coupling simulation between diesel 1D model and optimizing model modeFRONTIER is performed. Analyze the influence between the diesel performance and the engine intake parameters. At last, choosing the parameters which have an important effect on engine performance as the diesel intake system characteristic parameters. The simulation engine is only operating on the design condition.

Key words: characteristic parameters; simulation; modeFRONTIER; GT-POWER

1 前言

从发展趋势上来看, 车用柴油机得到持续不断的强化, 不断的提高平均有效压力 (pe)。对于发动机进气系统来说, 影响 pe 的主要参数是充量系数、气道处的进气压力与温度, 发动机进气系统的结构参数影响工质的流动性能, 影响 pe, 进而将直接影响整机的动力性、经济性。减小进气系统的流动阻力, 可以减少泵气损失, 提高指示功率和充量系数; 减小进气系统的流动阻力, 可以提高充量系数, 使发动机在一定的转速范围内增加充气量, 提高功率, 改善扭矩特性, 降低油耗率和烟度。因此, 最佳的进气系统需要保证在较低进气流动阻力的前提下提供较高的充量系数, 所有会对这些参数产生影响的进气系统参数都是增压进气系统的设计参数。

特征参数提取是为了得到增压进排气系统的几何结构参数与柴油机性能的关联关系, 通过研究找出影响较大的特征参数, 并总结其影响规律, 发现参数间变化规律及响应曲面, 指导进排气系统的设计。

本文通过建立柴油机整机 GT-power 模型，首先对模型进行了标定，再与 modeFRONTIER 耦合建立联合仿真模型，进行了整机性能计算，对各参数对增压柴油机性能的影响权重进行了分析，提取出对特定性能指标影响较大的特征参数、响应曲面。为了简化，报告是在各柴油机标定工况下完成相应进排气特征参数提取研究的，可为整机其它工况下的进气特征参数提取提供参考。

2 整机模型

2.1 GT-power 模型建立及主要设置

以 HC4132 为平台进行研究，其主要结构和性能参数见下表：

表 1 HC4132 主要参数表

参数	数值
型式	直列 4 缸
缸径冲程	132mm×145mm
功率	190kW
标定转速	2100r/min
扭矩	1049Nm
最大扭矩转速	1500r/min
涡前排温	587℃
标定点油耗	242k/kWh

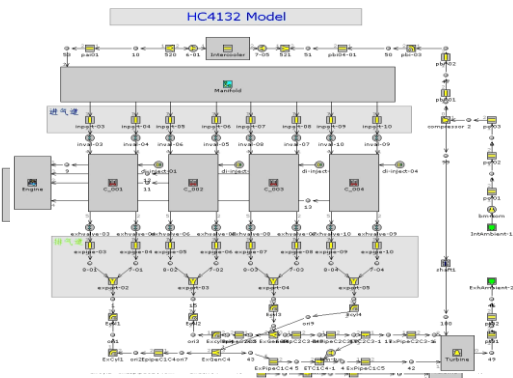


图 1 整机模型

其中，燃烧模型使用的是柴油机直喷射流燃烧模型（DI-jet）；增压器为全模型（MAP 图如下）；摩擦机械损失采用 Chen-Flynn 摩擦模型，计算公式为： $FMEP = \text{Constant part of FMEP} + (\text{Peak Cylinder Pressure Factor} * \text{爆压}) + (\text{Mean Piston Speed Factor} * \text{活塞平均速度}) + (\text{Mean Piston Speed Squared Factor} * \text{活塞平均速度}^2)$ ；放热采用 WoschniGT 模型。

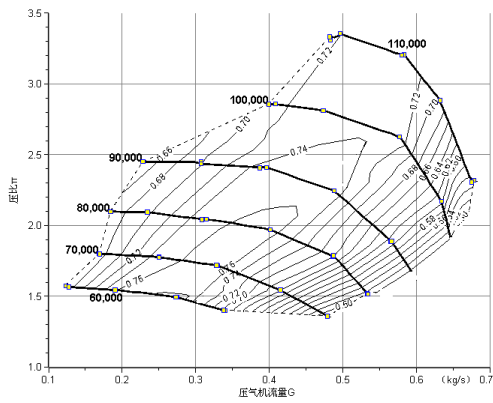


图 2 J85-1 涡轮增压器压气机特性曲线

2.2 整机模型标定

对 DI-jet 模型、整机指标、标定点缸压对整机模型进行了标定，结果如下：

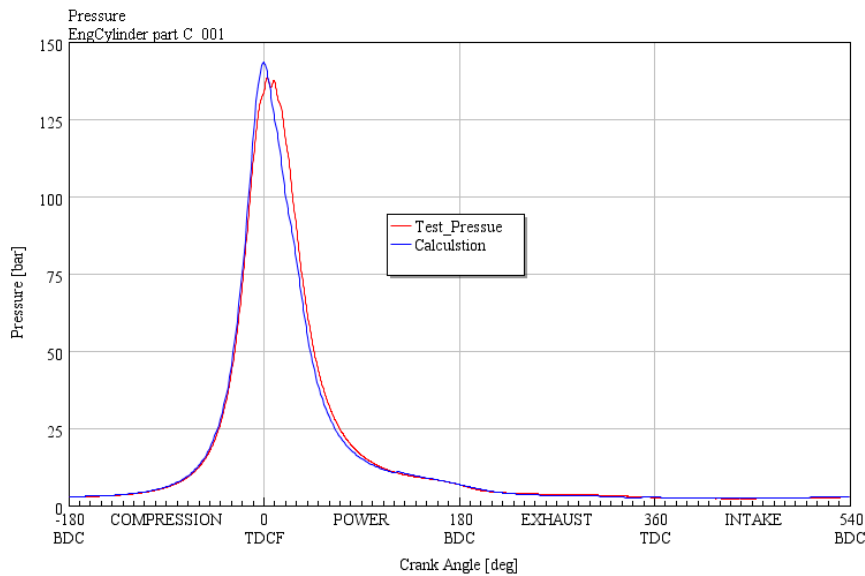


图 3 缸压曲线对比

从仿真结果来看，误差在允许的范围，测试的数据和仿真结果基本满足要求，可以进行下一步的计算。

2.3 耦合模型及计算

利用 modeFRONTIER 和 GT-Power 之间的直接接口可方便的实现模型的耦合，建立的模型如下图：

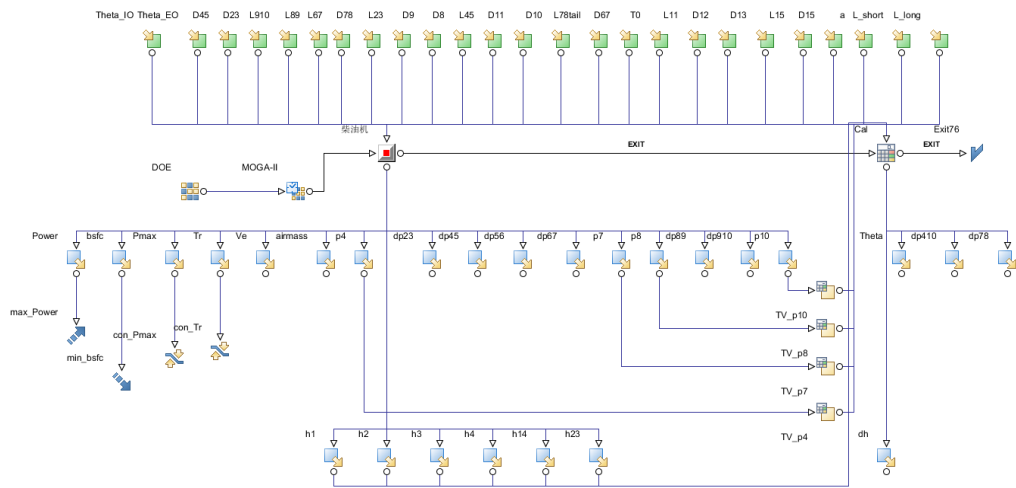


图 4 耦合仿真模型

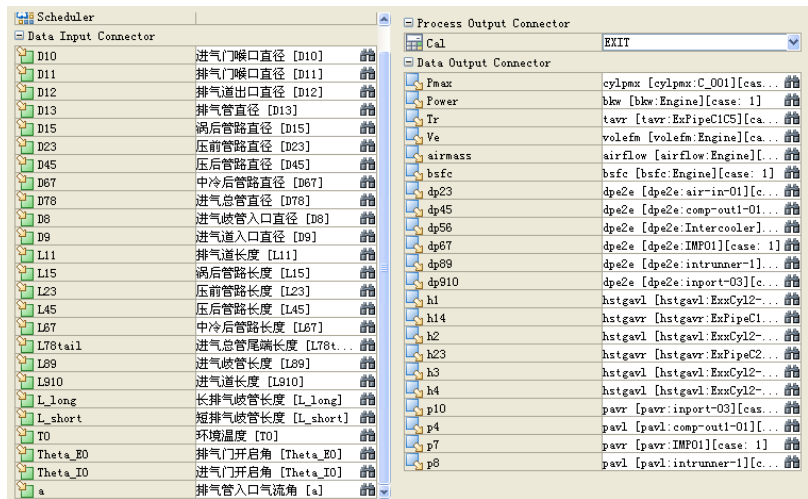


图 5 输入输出参数设置

根据经验和整机布置的约束条件选取合理进排气系统的初始输入的结构参数与导出参数（导出参数是结构参数与性能参数的桥梁，是分析结构参数对性能参数影响的主要依据），为了全面考虑参数对整机性能的影响，输入的参数变量很多，计算耗时很大。为了提高计算速度，先进行初步计算，分析各参数对发动机性能目标参数的敏感度，对于在其设计范围内对目标性能参数影响很小的参数予以剔除，提取出影响较大的作为特征参数；再针对保留的特征参数，修改模型后重新计算，得出最终的结果；最后总结分析各参数对发动机性能的影响敏感度等规律。

3 结果及分析

针对 HC4132 柴油机标定工况，计算结果如下图：

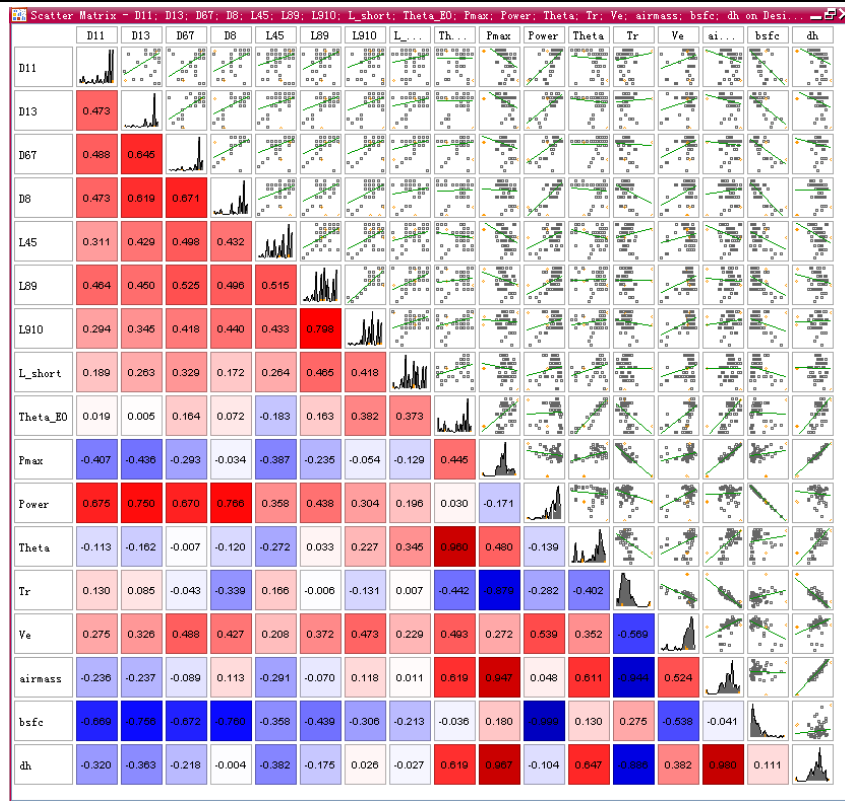


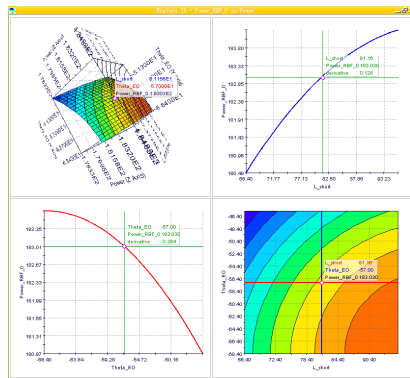
图 6 进气特征参数的影响规律敏感度表

从图 6 可以看出（颜色越深相关性系数绝对值越大，红色代表正相关，蓝色代表负相关）：初步计算了 300 步，去除了部分敏感性低的参数，保留了图中所示的对柴油机多目标综合性能影响最大的参数作为特征参数（见下表 2），包括进气歧管直径、排气道喉口直径、排气总管直径、排气门开启角、中冷后管路直径、压后管路直径、进气歧管长度，进气道长度；再计算 1000 步左右，最终结果如上图，可以发现爆压与排温负相关、气门叠开角与排温负相关等柴油机性能参数间的基本规律，进一步证明了计算的可信度。

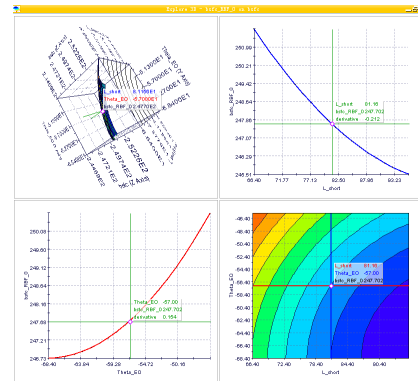
表 2 进气特征参数

参数	表述	单位
D8	进气歧管直径	mm
D11	排气道喉口直径	mm
D13	排气管直径	mm
L_short	短排气歧管长度	mm
Theta_E0	排气门开启角	° CA
D67	中冷后管路直径	mm
L45	压后管路长度	mm
L89	进气歧管长度	mm
L910	进气道长度	mm

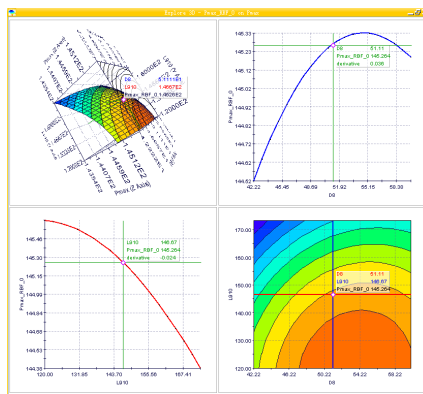
针对功率、油耗、爆压、排温四个技术指标，分别提取出 HC4132 柴油机标定工况下对其影响最大的两个特征参数(见下表 3)，建立响应面(RSM)，如下图 7。



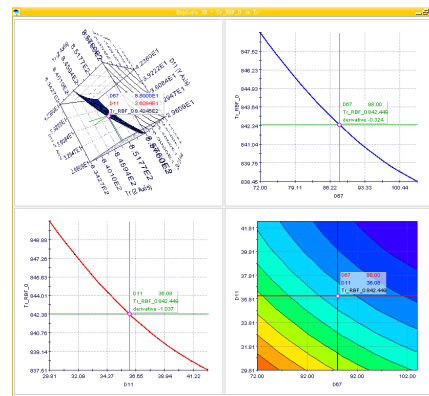
a 功率的两个关联特征参数 RSM



b 油耗的两个关联特征参数 RSM



c 爆压的两个关联特征参数 RSM



d 排温的两个关联特征参数 RSM

图 7 目标参数的响应面曲线

从图 7 可以看出，短排气歧管长度和排气门开启角对标定工况下的功率影响最大，且随着排气门开启角的增大功率下降、随着短排气歧管长度的增大功率增加；短排气歧管长度和排气门开启角对标定工况下的油耗影响最大，且随着排气门开启角的增大油耗增加、随着短排气歧管长度的增大油耗下降；进气道长度和进气歧管直径对标定工况下的爆压影响最大，且随着进气道长度的增大爆压下降、随着进气歧管直径的增大爆压先增加后降低；中冷后管路直径和排气道喉口直径对标定工况下的排温影响最大，且随着中冷后管路直径的增大排温下降、随着排气道喉口直径的增大排温下降。

表 3 单目标影响的两个特征参数

优化目标参数	关联特征参数	单位
Pe	L_short	mm
	Theta_E0	° CA
bsfc	L_short	mm
	Theta_E0	° CA
Tr	D67	mm
	D11	mm
pmax	L910	mm
	D8	J/kg

4 结论

1. 利用 modeFRONTIER 软件结合标定好的柴油机预测分析模型，可以很好的实现柴油机参数的敏感性分析与多目标或单目标的特征参数提取；

2. HC4132 柴油机标定工况下多目标综合优化的特征参数为进气歧管直径、排气道喉口直径、排气总管直径、排气门开启角、中冷后管路直径、压后管路直径、进气歧管长度；

3. HC4132 柴油机标定工况下单目标优化的特征参数为：功率为短排气歧管长度和排气门开启角、油耗为短排气歧管长度和排气门开启角、爆压为进气道长度和进气歧管直径、排温为中冷后管路直径和排气道喉口直径；

4. 利用耦合优化模型找出了柴油机进行系统的特征参数，在进行优化计算时可大幅减少输入参数，极大的节约优化设计的时间。由于只考虑了标定工况，计算还不够全面，后续将进一步计算其它工况，更加全面的分析对柴油机性能影响显著的特征参数。

5 参考文献

- [1] 周龙保编 《内燃机学》 [M] 机械工业出版社 2005
- [2] GT-SUITE Engine Performance Application Manual [M]
- [3] modeFRONTIER User Guide [M]