

# 基于 GT-POWER 和 modeFRONTIER 联合仿真的汽油机进排气管路优化

## Optimization for the Intake and Exhaust System of a Gasoline

### Engine Based on GT-POWER and modeFRONTIER

钱丁超

(中国第一汽车股份有限公司研发总院)

**摘要:** 为提高样机某工况下的转矩, 使用 modeFRONTIER 和 GT-POWER 联合仿真的方法对该发动机进排气系统的部分结构参数进行优化。从发动机结构限制及优化成本的角度确定了进排气系统的 3 个尺寸参数作为输入变量, 以 8000r/min 全负荷工况下的转矩、10000r/min 全负荷工况下的功率、以及这两个工况点下的有效燃油消耗率为输出变量, 搭建自动优化模型。最终在满足限制条件的基础上将目标转矩提高了 2.5%。

**关键词:** modeFRONTIER、GT-POWER、汽油机、自动优化

**Abstract:** In order to improve the torque of a gasoline engine, the parameters of the intake and exhaust system of the engine were optimized by modeFRONTIER and GT-POWER simulation. Considering the engine structure limitation and optimization cost, three parameters of the intake and exhaust system were determined as the input variables. And engine torque, power and fuel consumption at specific working conditions were set as output variables. In the end, the final target torque was increased by 2.5% through the optimization.

**Key words:** modeFRONTIER、GT-POWER、Gasoline engine、Automatic optimization

## 1. 前言

modeFRONTIER 是由意大利 ESTECO 公司开发的多目标优化软件, 以其实验设计方法和优化算法丰富、用户图形界面简洁明了、直接接口丰富等优点被广泛地应用于汽车工业领域。

本文以一台 0.6L 排量的小型增压汽油机为研究对象, 该发动机在试验阶段发现 8000r/min 全负荷工况下转矩出现突降。考虑到发动机结构限制及控制优化成本, 拟通过优化进排气系统的部分管路尺寸来尽可能提高该工况点下的发动机转矩, 使用 modeFRONTIER 软件来探索优化方案。采用 modeFRONTIER 和 GT-POWER 联合仿真的方法, 使用 modeFRONTIER 对输入变量和输出结果进行全自动的优化, 使用 GT-POWER 作为求解器。该工作可以探索样机性能提升的可行性, 为样机进排气系统的优化方向提供参考。

## 2. 联合仿真模型的建立

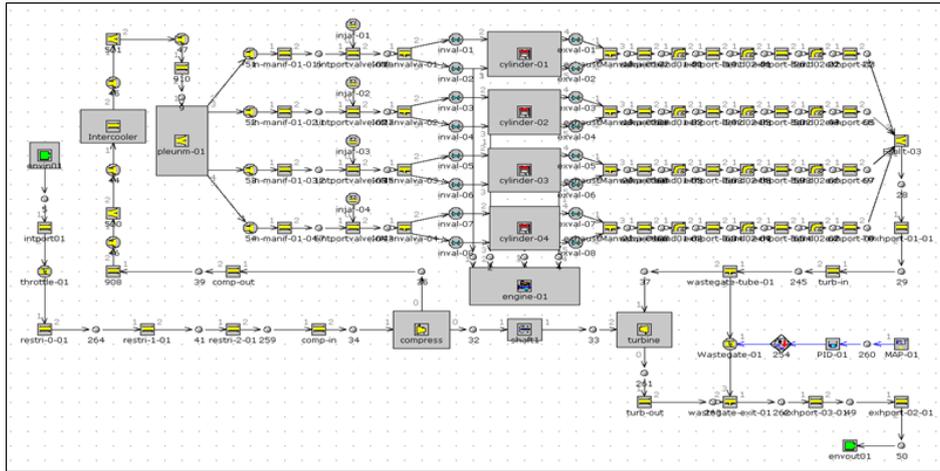
### 2.1 发动机基本参数与 GT-POWER 模型

本文样机为一台气道喷射的 0.6L 涡轮增压汽油机, 基本参数如表 1 所示。根据发动机结构参数和试验数据搭建其 GT-POWER 模型, 如图 1 所示。

表 1 发动机基本参数

进气形式	涡轮增压
气缸排列及缸数	直列 4 缸
缸径×冲程 (mm×mm)	67.0 × 42.5
排量 (mL)	599
压缩比	12
供油形式	多点电喷

图 1 发动机 GT-POWER 模型



## 2.2 modeFRONTIER 优化模型

对于涡轮增压汽油机来说，一般希望其扭矩平台较为宽广。该发动机从 3000r/min 进入扭矩平台，一直持续到 9000r/min 左右，但在 8000r/min 时的转矩明显低于其他工况点，需要进一步的提高。考虑到发动机布置空间以及结构变动的可行性，优化的输入变量确定为中冷器后进气总管的长度、稳压箱体积及排气总管长度，所对应的输入变量名依次为 inpipe\_length、plenum\_volume 和 export\_length，各输入变量的变化范围如表 2 所示。

表 2 输入变量的变化范围

输入变量	变化范围	变化步长
inpipe_length	100mm-140mm	5mm
plenum_volume	1600cm <sup>3</sup> -2200cm <sup>3</sup>	50cm <sup>3</sup>
export_length	80mm-140mm	5mm

本文希望通过进排气系统的优化来提高 8000r/min 时的转矩，同时不对 10000r/min 全负荷工况的功率及这两个工况下的油耗造成较大的损失。因此，将 GT-POWER 模型的仿真工况设定为 8000r/min 和 10000r/min 全负荷工况，8000r/min 全负荷工况的转矩值所对应的输出变量为 torque\_8000rpmWOT，油耗所对应的输出变量为 BSFC[0]；10000r/min 全负荷工况功率值所对应的输出变量为 power\_10000rpmWOT，油耗所对应的输出变量为 BSFC[1]。最终目标变量的约束条件设定为如表 3 所示。

表 3 目标变量及其约束条件

目标变量	约束条件
torque_8000rpmWOT	$\geq 76.5\text{Nm}$
power_10000rpmWOT	$\geq 74\text{kW}$
BSFC[0]	最小值
BSFC[1]	最小值

最终建立的自动优化模型如图 2 所示，模型 A 区域为进排气系统的 3 个优化参数，B 区域为试验设计方法、优化算法和 GT-POWER 耦合接口，C 区域为输出文件、输出参数、优化目标和约束。DOE 算法选择的是 Sobol 伪随机算法，它用随机数取代均一的分布，即选点的方法不是有序的也不是任意的，而是一种弱有序的取数方式，其优点就是可以通过较少的随机点来表征较大的设计空间。优化算法选择的是 MOGA-II 多目标遗传算法<sup>[1]</sup>。MOGA-II 多目标遗传算法的优化过程为首先使用 DOE 生成初始方案进行计算，然后根据计算结果从初始方案中选择一些相对较优的计算点，在其附近生成新一代方案继续进行计算，重复上一步骤，直至达到设定的终止条件<sup>[2]</sup>。本文中第一代计算点数量即 DOE 实验设计产生的点数量为 10 个，MOGA-II 遗传算法的遗传代数 10，总方案数为 100。

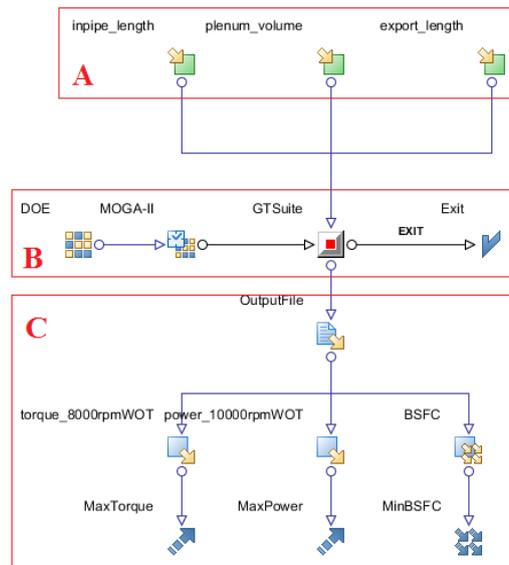


图 2 modeFRONTIER 多目标优化模型

### 3. 优化结果分析

输入变量 `inpipe_length`、`plenum_volume` 和 `export_length` 的变化历程分别如图 3、图 4 和图 5 所示。由图可见，`inpipe_length` 的值主要集中在 110–135mm 的范围内，`plenum_volume` 的值主要集中在 1600–1850cm<sup>3</sup> 的范围内，`export_length` 的值主要集中在 120–140mm 的范围内。

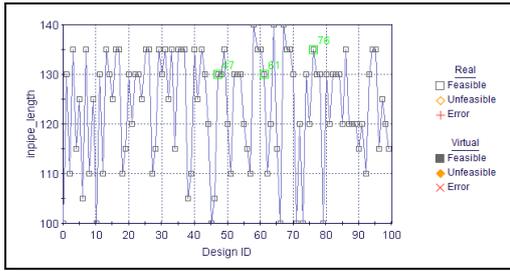


图 3 输入变量 inpipe\_length 的变化历程

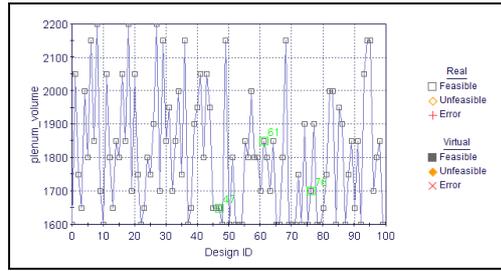


图 4 输入变量 plenum\_volume 的变化历程

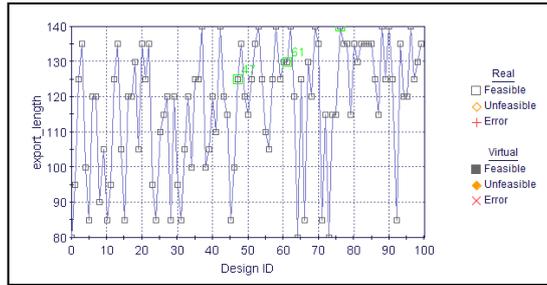


图 5 输入变量 export\_length 的变化历程

目标变量历程分别如图 6 至图 9 所示。由图可见，大部分方案的 torque\_8000rpmWOT 的值在 75.5-76Nm 的范围内，10000r/min 全负荷工况下的功率以及两个工况下的油耗变化都不大。

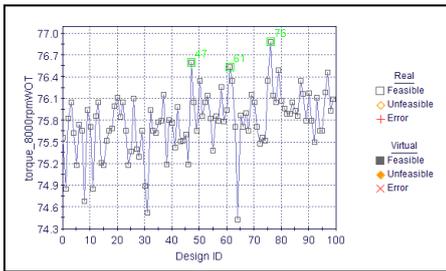


图 6 torque\_8000rpmWOT 的变化历程

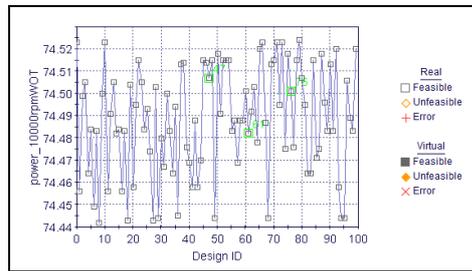


图 7 power\_10000rpmWOT 的变化历程

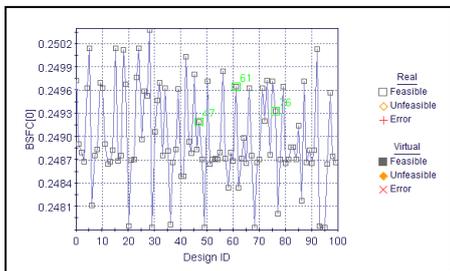


图 8 目标变量 BSFC[0] 的变化历程

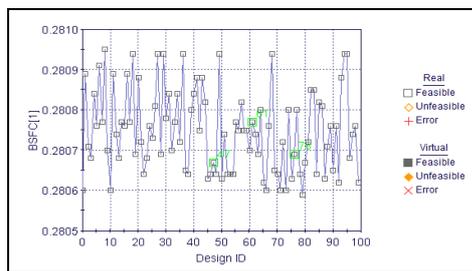


图 9 目标变量 BSFC[1] 的变化历程

经过以上分析，满足扭矩、功率和油耗条件的共有 3 个方案，如表 4 所示，其中 76 号方案的扭矩最高，将其定为最优方案。优化前后的中冷器后进气总管的长度、稳压箱体积及排气总管长度参数依次如表 5 所示。

表 4 符合约束条件方案的对比

方案号	torque_8000rpmWOT /Nm	power_10000rpmWOT /kW	BSFC[0] /g (kw·h) <sup>-1</sup>	BSFC[1] /g (kw·h) <sup>-1</sup>
47	76.60	74.51	249.2	280.7
61	76.53	74.48	249.7	280.8
76	76.89	74.50	249.3	280.6

表 5 最优方案的输入变量值

输入变量	优化前	优化后
inpipe_length	120mm	130mm
plenum_volume	2000cm <sup>3</sup>	1700cm <sup>3</sup>
export_length	100mm	140mm

将 76 号方案的外特性与优化前样机的外特性进行对比,如图 10 所示,发现除了 8000r/min 下转矩提升了 2.5%以外,其他工况点的转矩差距并不明显。通过以上研究也可发现,目前针对进排气管路的优化对于转矩提高是有限的,需再从其他方面寻求提高 8000r/min 全负荷工况转矩的方法。

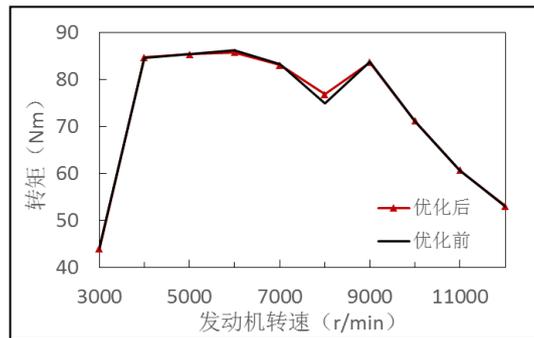


图 10 优化前后外特性对比

#### 4. 结论

本文通过 modeFRONTIER 和 GT-POWER 联合仿真的方法,对某 0.6L 涡轮增压发动机进排气系统进行优化。通过仿真结果得到了优化方案,该方案能将目标转矩提高 2.5%,同时不影响目标工况点的功率和油耗。

#### 5. 参考文献

- [1] 王森. 基于模型的涡轮增压发动机设计和性能优化研究[D]. 上海交通大学, 2012.
- [2] 郭子锐. 天然气发动机的仿真优化与性能提高研究[D]. 上海交通大学, 2012.