

米勒循环涡轮增压汽油机燃烧数据预测

Miller cycle turbo charged gasoline engine combustion data prediction

尹伊郡 封岑

(浙江吉利动力总成系统)

摘 要:本文探索一种使用 GT-Power 软件预测米勒循环涡轮增压汽油机燃烧数据的方法。首先使用 Wiebe 燃烧模型和 SI-Turb 燃烧模型分别建立并校核吉利某汽油机模型。之后设计两种米勒型线并在使用 Wiebe 燃烧模型的汽油机模型中优化两种方案外特性进排气门相位。最后使用 SI-Turb 燃烧模型和 Knock 模型预测两种方案外特性的燃烧数据。上述方法在计算量可接受的前提下, 可以较为准确的预测米勒循环增压汽油机的燃烧数据。

关键词: 米勒循环、燃烧预测、汽油机、GT-Power

Abstract: In this paper a method for predicting the combustion data of a Miller cycle turbocharged gasoline engine is explored with GT-power software. The Wiebe combustion model and the SI-Turb combustion model are adopted to establish and verify a Geely gasoline engine model. Two Miller profiles are then designed, and the timing of intake and exhaust valves of these two profiles are optimized in a gasoline engine model using the Wiebe combustion model. Finally, the SI_Turb combustion model and the Knock model are applied to predict the combustion data of the external characteristics of the two schemes. The above method can accurately predict the combustion data of the Miller cycle turbocharged gasoline engine based on the premise that the calculation amount is acceptable.

Key words: Miller Cycle, Combustion data prediction, Gasoline engine, GT-Power

1. 前言

我国四阶段油耗法规已于 2016 年 1 月 1 日开始导入, 2020 年国产乘用车平均油耗将降至 5L/100km, 更加严格的第五阶段油耗法规预计将于 2021 年导入, 整车厂的油耗压力与日俱增。米勒循环与涡轮增压技术配合由于可以降低汽油机小负荷区域油耗, 同时改善大负荷区域爆震^[1], 已经成为当前汽油机主流技术^[2]。在汽油机开发阶段, 如何准确的预测米勒循环汽油机的燃烧数据已经成为各整车厂亟待解决的问题。本文使用 GT-Power 软件建立并校核现有汽油机模型, 设计两种米勒型线并优化外特性工况相位, 使用 SI-Turb 燃烧模型和 Knock 模型预测得到下一代汽油机燃烧数据, 在计算量可接受范围内, 探索一种较为准确的燃烧数据预测方法。

2. 燃烧数据预测

2.1 汽油机 GT-Power 模型校核

使用 GT-Power 软件建立并校核吉利三缸 1.5L 气道喷射涡轮增压汽油机模型, 校核工况为 1000-5500rpm 外特性工况, 汽油机模型见图 1。

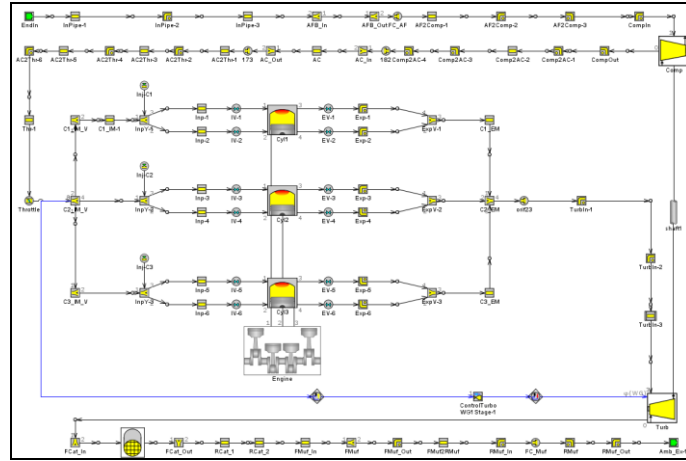


图 1 汽油机 GT-Power 模型

汽油机 GT-Power 模型分别使用 Wiebe 燃烧模型和 SI-Turb 燃烧模型进行校核。Wiebe 燃烧模型校核结果见图 2，校核结果显示外特性工况模型扭矩、进气量与试验数据吻合度较好。SI-Turb 燃烧模型校核结果见图 3，校核结果显示外特性工况模型扭矩、进气量、燃烧重心、燃烧持续期与试验数据吻合度较好。校核 SI-Turb 模型中 Konck 模型，认为外特性工况均运行在爆震边界，校核结果见图 4。校核结果显示所有外特性工况参数 Knock Induction Time Integral 均在 1 附近。模型校核结果显示模型数据与试验数据吻合度较好，可以使用该模型进行下一步计算。

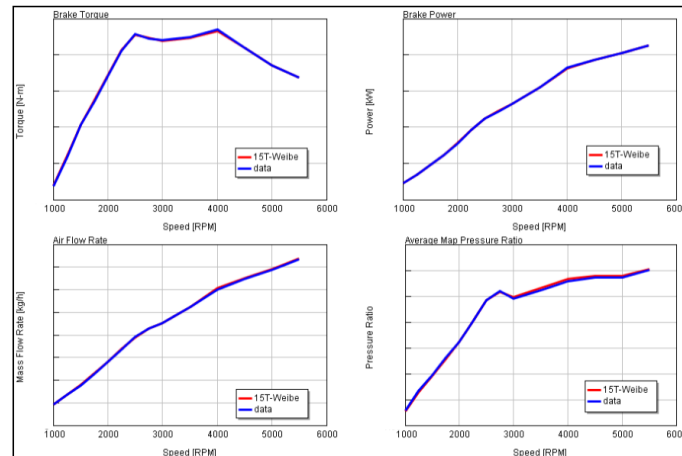


图 2 Wiebe 模型校核结果

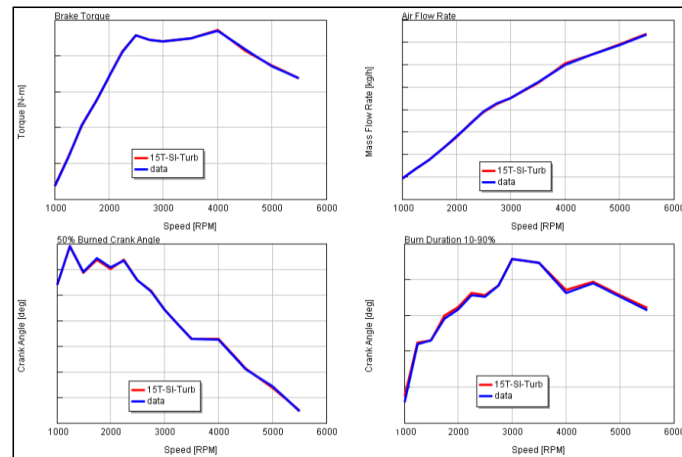


图 3 SI-Turb 模型校核结果

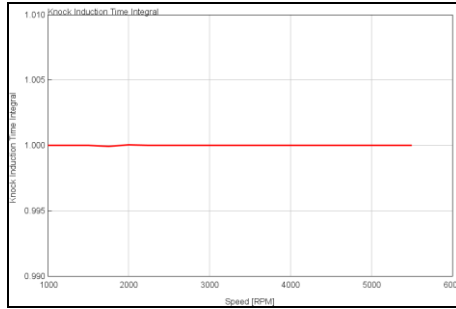


图 4 Knock 模型校核结果

2.2 下一代汽油机建模

首先将原 GT-Power 模型气道喷射升级为缸内直喷，见图 5。之后将压缩比提高一个单位。使用 SI-Turb 燃烧模型和 Knock 模型预测 15TD 和 15TD 压缩比提高一个单位两种情况的燃烧数据，并与 15T 进行对比。

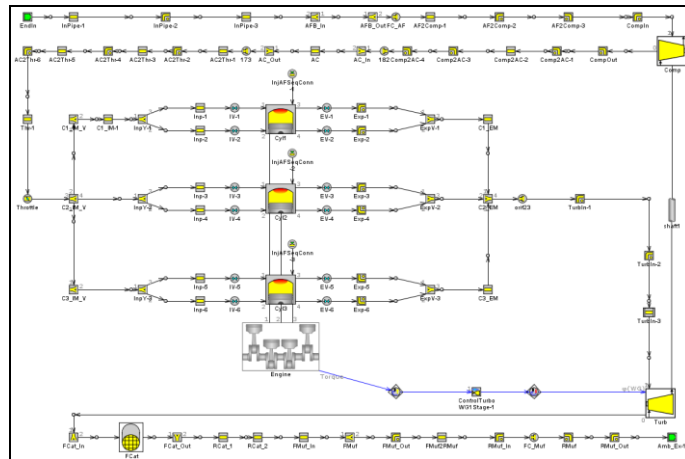


图 5 缸内直喷发动机 GT 模型

三种方案计算结果见图 6。气道喷射改为缸内直喷后，爆震倾向减弱，点火角提前。在缸内直喷基础上提高一个单位压缩比，爆震倾向加强，点火角推迟，点火角与气道喷射相比靠后。从计算结果可以看出，缸内直喷技术相对于气道喷射可以改善缸内爆震情况，但不足以弥补压缩比提高一个单位导致的爆震倾向加重。计算结果与经验基本一致，也验证了 SI-Turb 燃烧模型和 Knock 模型的准确性。

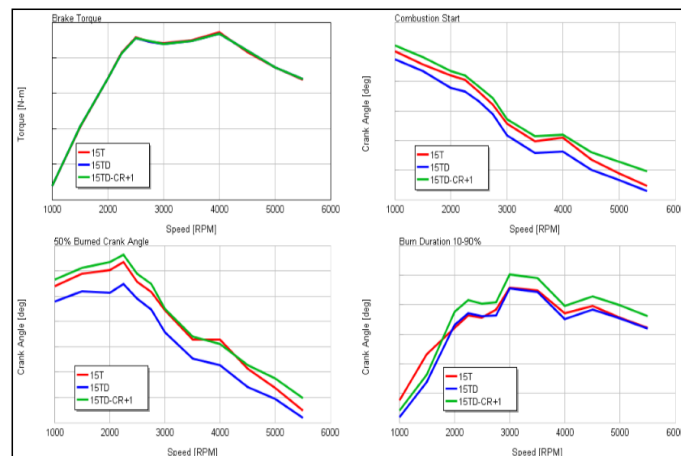


图 6 计算预测数据对比

2.3 米勒型线方案设计及相位优化

对于米勒循环增压汽油机，型线及进排气门相位在外特性工况对缸内爆震影响极大，在试验过程中通常会选取爆震倾向较低，同时保证压比在可接受的范围内的相位组合。由于不同相位汽油机的进气量相差极大，因此在性能设计阶段，需要准确的预测相位和进气量，从而为进排气系统的设计提供准确的边界条件。

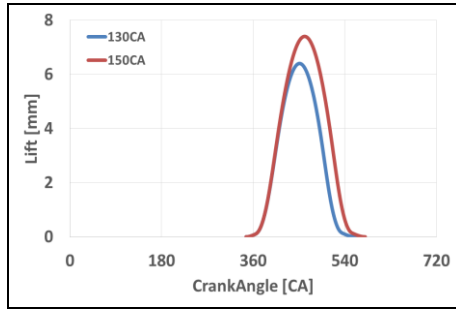


图 7 米勒型线方案

设计 1mm 包角为 130CA 和 150CA 两种进气门升程曲线，最大升程分别为 6.35mm 和 7.4mm，见图 7。在使用 Wiebe 燃烧模型的发动机 GT-Power 模型中对两种米勒型线方案外特性工况的相位进行全因子 Doe 优化。优化参数为进、排气 1mm 的 IVO 和 EVC，优化范围为 330-390CA。计算中除扭矩和压比外，还需要关注与爆震相关性较大的参数，如缸内残余废气 In-EGR、压缩末端缸内压力 P、压缩末端缸内温度 T，其中压缩末端缸内压力和温度需要搭建模型从气缸中获得，见图 8。

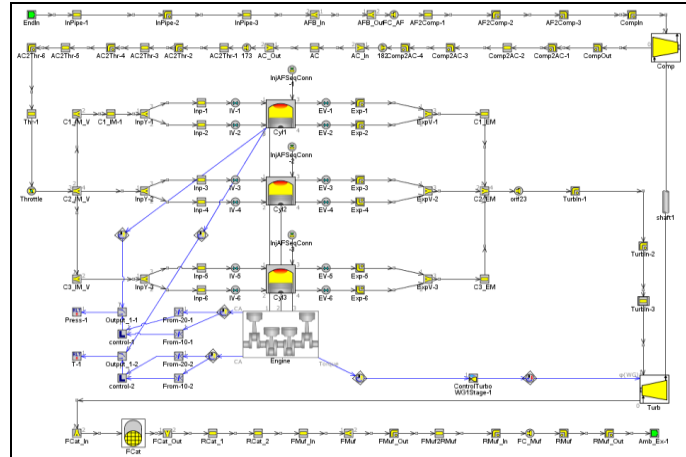


图 8 压缩末端缸内压力、温度监测模型

米勒 130CA 包角方案 5500rpm 外特性工况 VVT 计算结果见图 9。在满足扭矩目标范围内，进气门开启越早，压比越大，压缩末端缸内压力、温度越小，缸内残余废气在一定组合区域内存在最小值。由于压比越大压后温度越高，需要中冷器有更大的冷却能力。压缩末端压力、温度越小，缸内爆震倾向越弱。残余废气越少，缸内爆震倾向也越弱[3]。因此，相位的选择应在满足扭矩目标的前提下，综合考虑上述因素的影响。最终选择相位 IVO=365CA、EVC=355CA。按此原则选取两个米勒型线方案外特性工况的相位，见表 1。

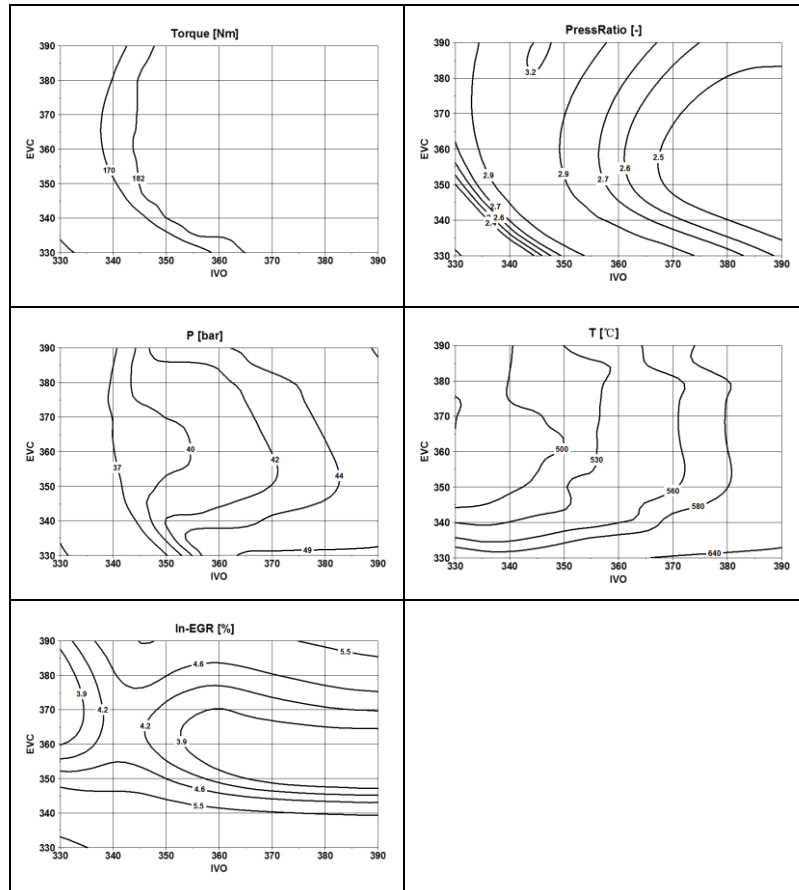


图 9 130CA 方案 5500rpm 外特性 VVT 计算结果

表 1 两种米勒方案外特性 VVT 优化结果

	Speed/rpm	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
130CA	IVO/CA	355	365	360	365	355	350	355	360	365	365
	EVC/CA	360	370	380	375	370	365	365	365	360	355
150CA	IVO/CA	350	355	350	355	350	350	350	355	360	360
	EVC/CA	365	375	370	375	370	370	370	370	365	360

2.4 燃烧预测

使用优化后 IVO、EVC 数据, 在使用 SI-Turb 燃烧模型和 Knock 模型的发动机 GT-Power 模型中预测两种米勒型线方案外特性工况的燃烧数据, 见图 10。米勒型线 130CA 方案与 150CA 方案相比爆震倾向较弱, 点火角提前, 燃烧更优, 但由于其充气效率较低, 需要更大的压比才能保证相同的外特性性能。

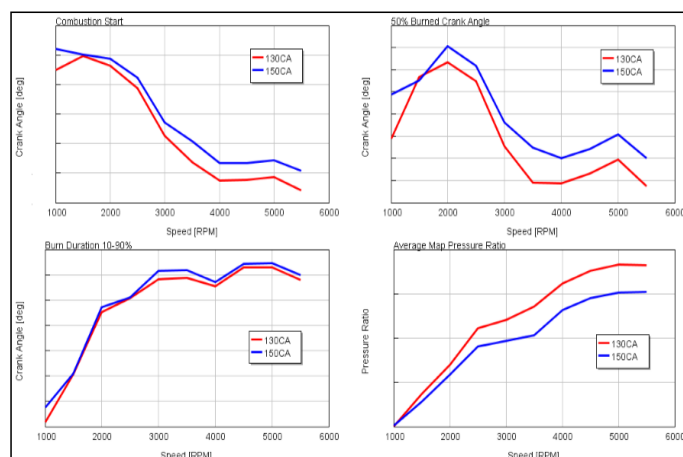


图 10 米勒型线方案预测数据对比

3. 结论

GT-Power 软件中 Wiebe 燃烧模型、SI-Turb 燃烧模型和 Knock 模型相互配合,可以较准确的预测米勒循环汽油机燃烧数据,同时可以减少计算量,缩短计算周期。具体方法如下:首先分别使用 Wiebe 燃烧模型和 SI-Turb 燃烧模型、Knock 模型校核汽油机 GT-Power 模型;之后设计米勒型线,使用 Wiebe 燃烧模型优化米勒型线方案各工况相位;最后使用 SI-Turb 燃烧模型、Knock 模型预测并获得下一代汽油机的燃烧数据。

4 参考文献

- [1] Ralf Budack, Michael Kuhn, Rainer Wurms, Thomas Heiduk. Optimization of the Combustion Process as Demonstrated on the New Audi 2.0l TFSI. 24th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2015, p. 169-187
- [2] Wolfgang Demmelbauer-Ebner, Hermann Middendorf, Andreas Birkigt, Matthias Ganzer, Dirk Hagelstein, Kai Persigehl. 25th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology 2016, p. 17-38
- [3] Kazuki, M., Hirotaka, K., Masaru, A., Naoko, M., Akira, T., Yu, Y., Mitsuhiro, S.: Development of New 1.0L I3 Gasoline Direct Injection Turbocharged Downsizing Engine, Honda R&D Technical Review, Vol. 29, No. 1, p. 1-9