某柴油机增压器性能优化分析

张波

安徽江淮汽车集团股份有限公司

摘要：本文基于BOOST软件，搭建某柴油机热力学仿真模型，通过热力学模型标定，结果表明标定结果与试验数据吻合良好，验证了分析模型的准确性。在标定模型基础上，依据功率、转矩目标，基于1号增压器进行性能分析，2号和3号增压器进行性能优化分析，对比分析了3款增压器下发动机性能差异，为发动机开发提供指导。

关键词：柴油机；增压器；模型标定；性能优化

0 前言

全球排放法规日益严格，对发动机开发提出了更加严格的要求，不仅动力性要有竞争性，而且油耗更要具有经济性。

当前，提升发动机热效率的各项技术正在快速应用和量产，如高燃烧效率、低摩擦技术、高压缩比、低压EGR冷却和高效率增压技术等[1]。本文基于BOOST软件从高效率增压技术和高压缩比技术两个方向进行仿真分析，预测发动机性能并进行增压器匹配计算，为项目开发提供参考依据。

1 分析模型

1.1 模型搭建

根据发动机各零部件实际尺寸和性能特性搭建BOOST分析模型，如图1所示，其中SB1和SB2代表环境边界元件，管路1～3、7～8、10～13、17、19～22代表进气管路元件，管路4～6、9、14～16、18、23～38代表排气管路元件，R1～R6代表连接口元件，CL1代表空滤器元件，CO1～CO2代表中冷器元件，TC1代表增压器元件，PL1代表进气稳压腔元件，C1～C4代表4个气缸元件，E1代表发动机元件，CAT1代表催化器元件。

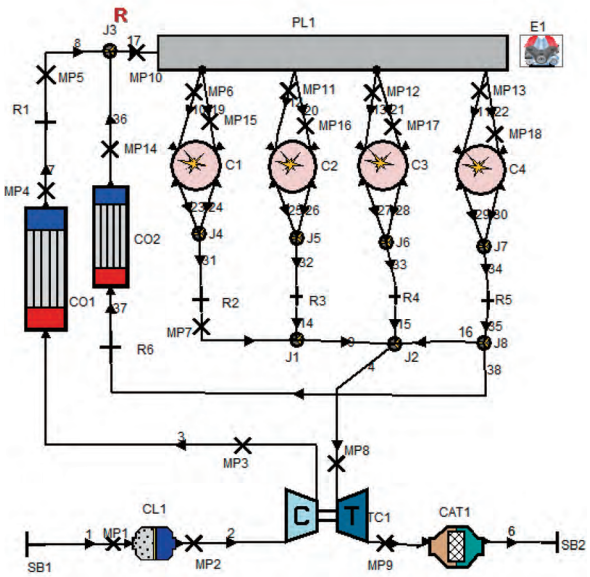

图1 BOOST分析模型

1.2 模型标定

模型标定采用1号增压器，对发动机关键参数（如功率、转矩、比油耗、进气量、排气背压以及涡轮机入口气体温度）进行试验和模型标定，为下一步性能优化提供基础模型。标定值和试验值对比结果如图2所示。

从图2可以看出，模型中发动机关键参数功率、转矩、比油耗、进气量、排气背压以及涡轮机入口气体温度等主要标定数据与试验数据能够较好地吻合，误差均在5%以内，验证了模型搭建的准确性和可靠性。

2 性能优化分析

在标定的分析模型基础上，将发动机的压缩比增加1。首先基于1号增压器进行发动机功率、转矩、比油耗和增压器匹配分析，根据分析结果进行2号增压器和3号增压器优化分析，并对比3款增压器下发动机性能差异和增压器的匹配状态。3款增压器主要参数

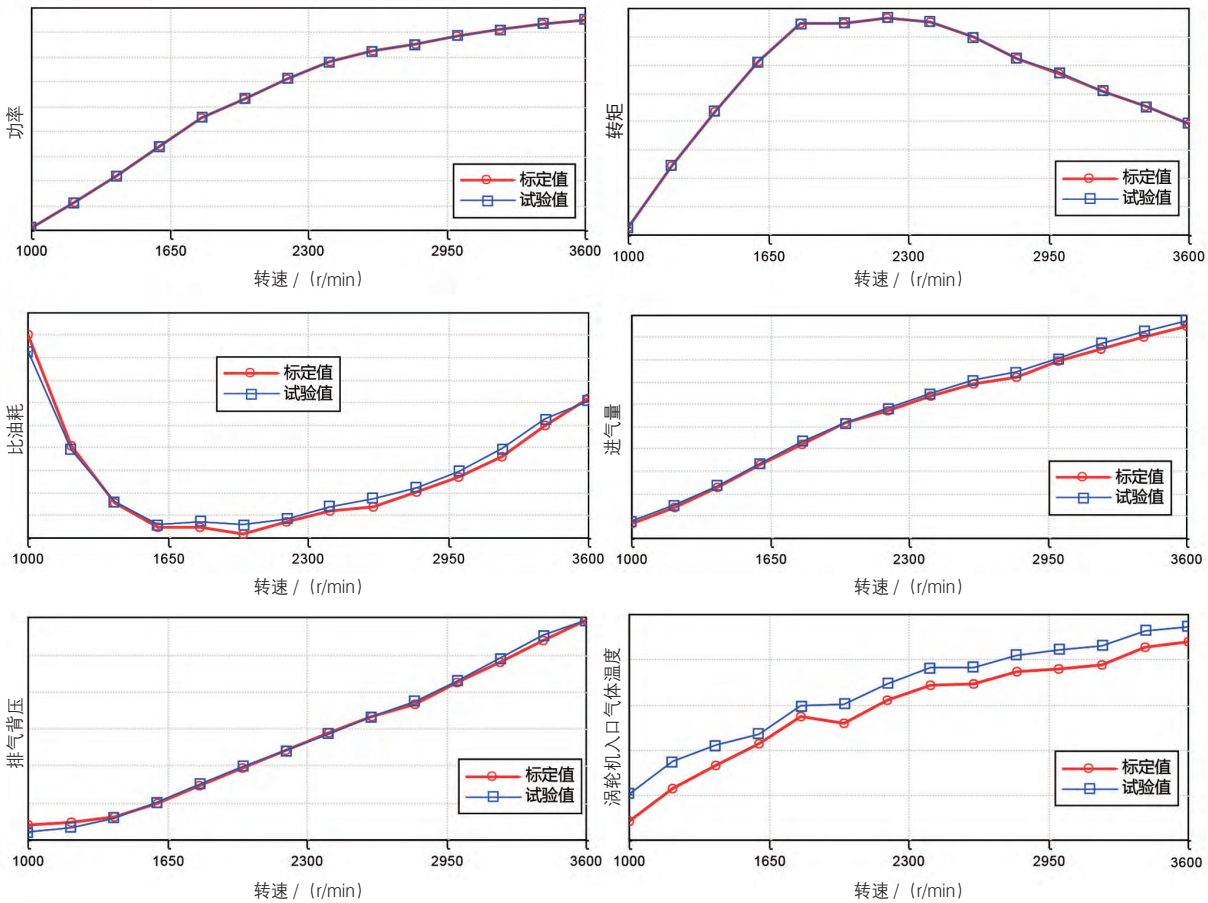

图 2　模型标定结果

表 1　增压器对比

增压器	压气机	涡轮机
1 号增压器	Trim 值 57	型号相同
2 号增压器	较 1 号 Trim 值小	
3 号增压器	较 1 号 Trim 值大	

对比结果见表 1。

2.1　性能匹配分析

性能匹配分析目标基于相同发动机功率、转矩，对比 3 款增压器下发动机的比油耗、过量空气系数、进排气边界、增压器总效率和增压器的匹配状态，发动机性能边界对比结果如图 3 所示。

从图 3 性能边界对比结果得出，3 款增压器下发动机外特性功率、转矩均能满足目标要求，发动机的比油耗、过量空气系数、涡轮机入口压力温度、排气背压和增压器效率存在差异。

考虑整车进气管路、发动机排气歧管和增压器部件的耐热、耐压能力，仿真分析时控制中冷器出口气体最高温度、涡轮机入口气体最高温度和排气最大背压不超过设定限值，此时分析 3 款增压器下的结果：

1 号增压器下发动机比油耗最高、2 号增压器下发动机比油耗中低速较低、3 号增压器下发动机比油耗中高速较低。主要原因是 1 号增压器总效率最低，导致能力损失最大，达到相同功率转矩动力性时消耗的油量最多。

对比 2 号和 3 号增压器总效率，二者总体相当，在中低速和高速存在一定差异，导致 2 款增压器下的比油耗差异。

过量空气系数与排放息息相关，相比之下，2 号和 3 号增压器下发动机过量空气系数较高，且 2 号增压器在发动机中低速更高、3 号增压器在发动机中高速更高。主要原因是基于相同增压压力下，进气量一致，高效率的增压器损失低，需求油量低，过量空气系数相对较高，有比较充足的排放标定和控制裕度。

因此，从发动机整体性能上得出，2 号增压器的整体性能更优，3 号增压器的高速性能更优。

2.2　增压器匹配分析

经过仿真分析，提取各款增压器下发动机增压压力和进气流量进行压气机运行线匹配，1 号、2 号和 3

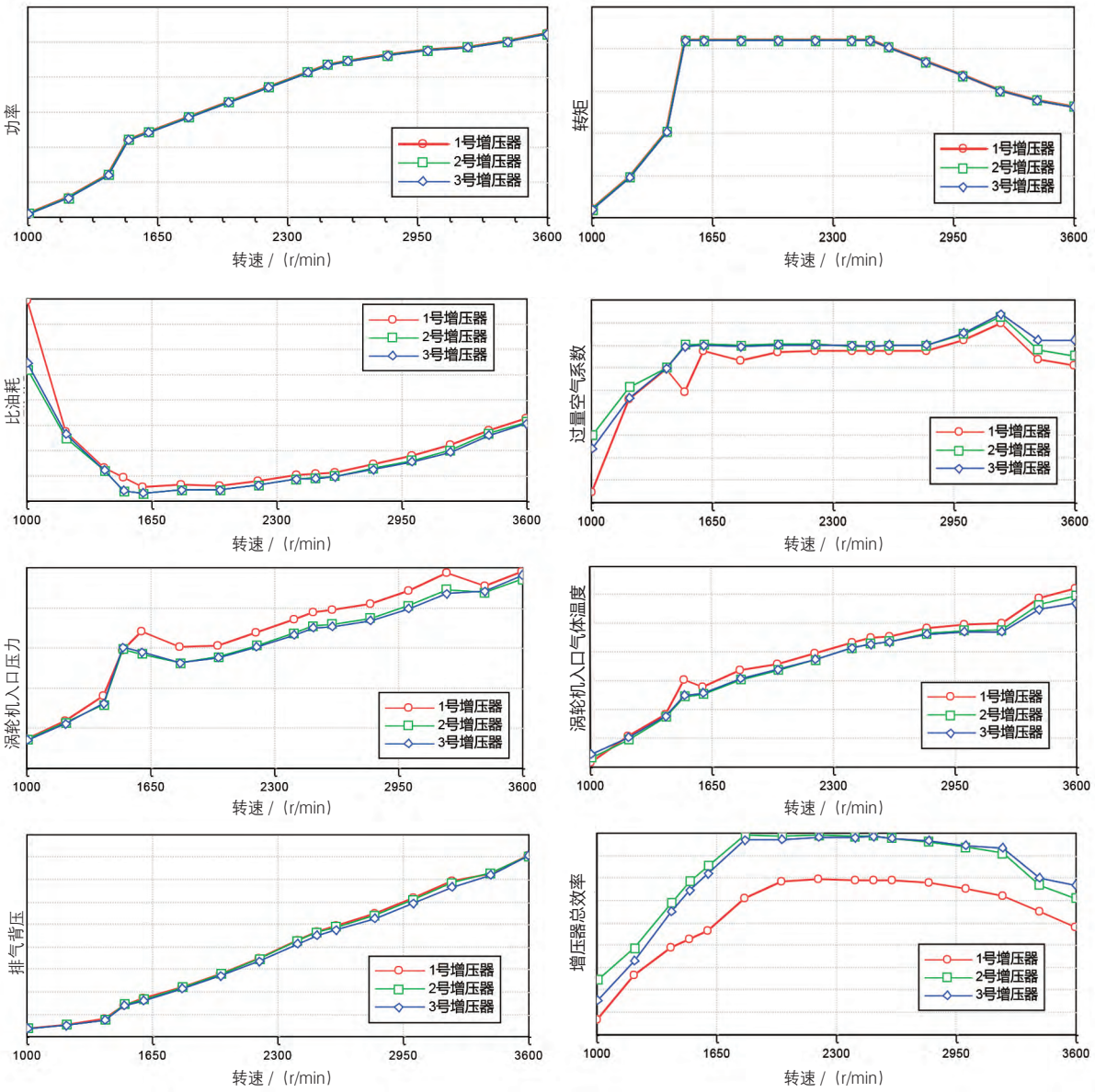

图 3　性能边界对比结果

号增压器匹配联合运行曲线结果，分别如图 4、图 5 以及图 6 所示，各款增压器的匹配状态（喘振裕度、转速裕度和阻塞现象）对比结果见表 2。

表 2　增压器匹配状态结果对比

	喘振裕度	转速裕度	阻塞现象
1 号增压器	5%	4.8%	无阻塞现象
2 号增压器	30%	9.7%	
3 号增压器	12%	8.6%	

从 3 款增压器压力和联合运行曲线对比得出，1 号增压器最大压比是 3 款增压器中最小的，导致高速增压器的转速裕度最小，也不利于高原发动机动力性的保持；2 号增压器和 3 号增压器的增压压力最大，匹配后两个增压器的转速裕度相当。

从 3 款增压器流量和联合运行曲线对比得出，2 号增压器的最低流量是 3 款增压器中最大的，基于相同发动机性能和增压压力，2 号增压器的喘振裕度是最大的；1 号增压器的最低流量是 3 款中最大，因此喘振裕度最小，3 号增压器次之。

从增压器各转速的最大流量对应的效率得出，3 款增压器下的高速运行工况对应的效率均在 0.6 以上，不会出现阻塞现象。

从发动机性能和增压器匹配状态结果得出，2 号增压器有利于发动机中低速性能，3 号增压器有利于发动

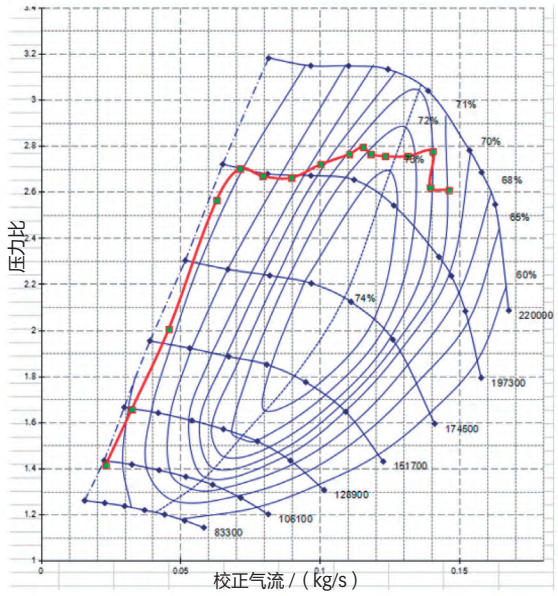

图 4　1 号增压器匹配结果

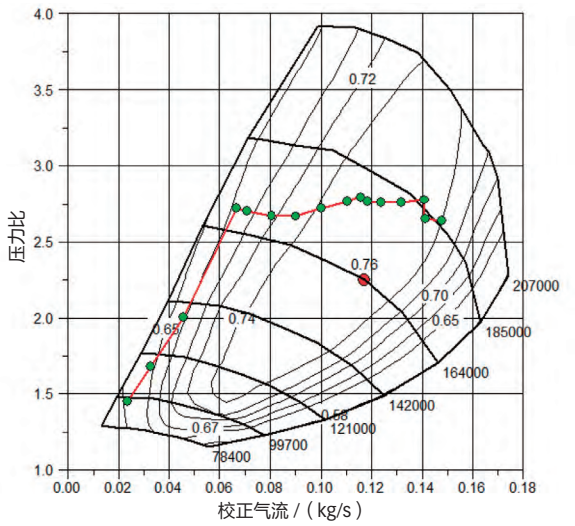

图 5　2 号增压器匹配结果

机中高速性能，与当前增压器联合运行曲线、匹配状态结果比较一致。

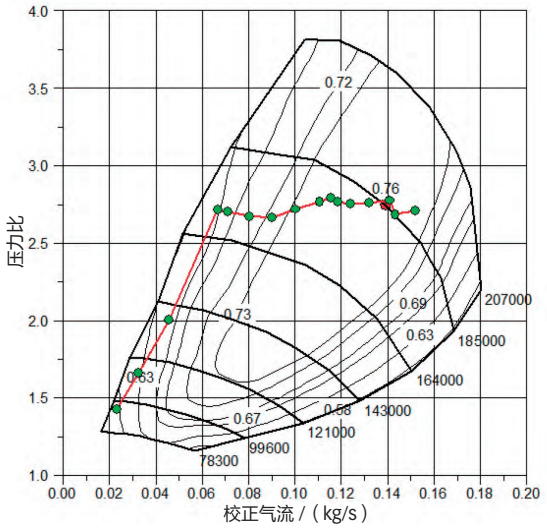

图 6　3 号增压器匹配结果

3　结论

基于 BOOST 仿真分析软件，我们搭建并标定了某柴油发动机热力学仿真分析模型，标定误差在 5% 以内，校核了仿真模型的准确性。

相同功率、转矩目标和边界条件下，2 号增压器和 3 号增压器下发动机匹配的比油耗优于 1 号增压器。

经过优化匹配分析，3 款增压器匹配结果下：2 号增压器喘振裕度最大，2 号和 3 号增压器转速裕度相当，1 号增压器喘振裕度和转速裕度最小，容易出现喘振和超速现象。

综上所述，2 号增压器在 3 款增压器中匹配结果最好，有利于发动机性能开发和指标达成。

参考文献：

[1] 周龙保 . 内燃机学 [M]. 北京：机械工业出版社 ,2010.

(上接第 37 页)

参考文献

[1] 周龙保 . 内燃机学 [M]. 北京：机械工业出版社，1999.

[2] 李元平，平银生，尹琪 . 增压缸内直喷汽油机早燃及超级爆燃试验研究 [J]. 内燃机工程，2012，33(5):63-66.

[3] 王志，龙岩，王建昕 . 增压汽油机中早燃和超级爆燃的研究进展 . 汽车安全与节能学报 [J]，2015.6(1):17-29.

[4] 中国国家标准化管理委员会 . GB/T 18297-2013 汽车发动机性能试验方法 [S]. 北京：中国标准出版社，2013.