

基于 CONVERGE 的柴油机燃烧系统优化

Optimization of Combustion System for a Diesel Engine Based on CONVERGE

庞斌 李志杰

潍柴动力股份有限公司 发动机技术研究院

摘要: 本文利用三维仿真软件 CONVERGE 对某机型燃烧系统进行了仿真模拟, 并与缸压和放热率的试验值进行对比。分析了共轨压力、涡流比、喷油始点和喷油器流量对燃油经济性和排放的影响规律, 并综合分析计算结果给出了几个参数的最佳匹配关系, 达到降油耗的目的。

关键词: 柴油机 共轨压力 涡流比 CONVERGE

Abstract: In this paper, CONVERGE was used to simulate the combustion system of a diesel engine. The predicted cylinder pressures and heat release rates have been compared with measured data. The effect of different common rail pressure, swirl ratio, injection timing and flow rate of the injector on the fuel consumption and emission characteristics has been studied. Based on the predicted results, a better optimum allocation has been suggested in order to decrease the fuel consumption.

Key words: diesel engine, common rail pressure, swirl ratio, CONVERGE

1 概述

排放法规对碳烟排放限制日益严格, 为发动机性能设计提出了更高的要求。近几年, 随着计算机技术的提升, 数值模拟工具已经成为发动机研发的重要手段。在发动机设计阶段, 燃烧室优化、进排气道优化和喷油器选型等重要技术环节, 都需要利用仿真工具进行预测判断, 为制定试验方案提供依据^[1]。

燃烧系统体系复杂, 优化时涉及参数较多。利用三维仿真工具, 可以计算得到不同配置下缸内流场、温度场、燃油混合浓度场及排放物生成和氧化过程。从而判断燃烧过程对经济性和排放的影响, 找到合理配置。

本文利用三维仿真软件 CONVERGE^[2]对某机型燃烧系统进行优化, 在保证排放水平的前提下, 达到降油耗的目的。通过分析计算结果, 推荐合理的配置。

2 发动机工况

本文利用三维 CFD 软件 CONVERGE^[2]对发动机缸内燃烧过程进行仿真计算, 工况点有 5 个, 具体参数如表 1 所示。缸内初始压力、温度、进气量和 EGR 率均来源于试验测量数据。

表 1 工况参数

工况	转速	负荷
	rpm	%
1	1036	100
2	1160	25
3	1285	50
4	1285	100
5	1900	100

3 计算结果

3.1 模型标定

为保证预测的准确性，对燃烧参数进行标定。图 1 为不同工况下 CONVERGE 计算的缸压和放热率与实验值的对比情况。可以看出五种工况计算的缸压曲线和着火点均与试验值吻合。CONVERGE 可以较为准确的计算不同转速、不同工况下发动机缸内燃烧特性情况。图中的计算放热率是化学反应机理的放热速率，没有考虑传热损失，因此比试验值略高^[2]。

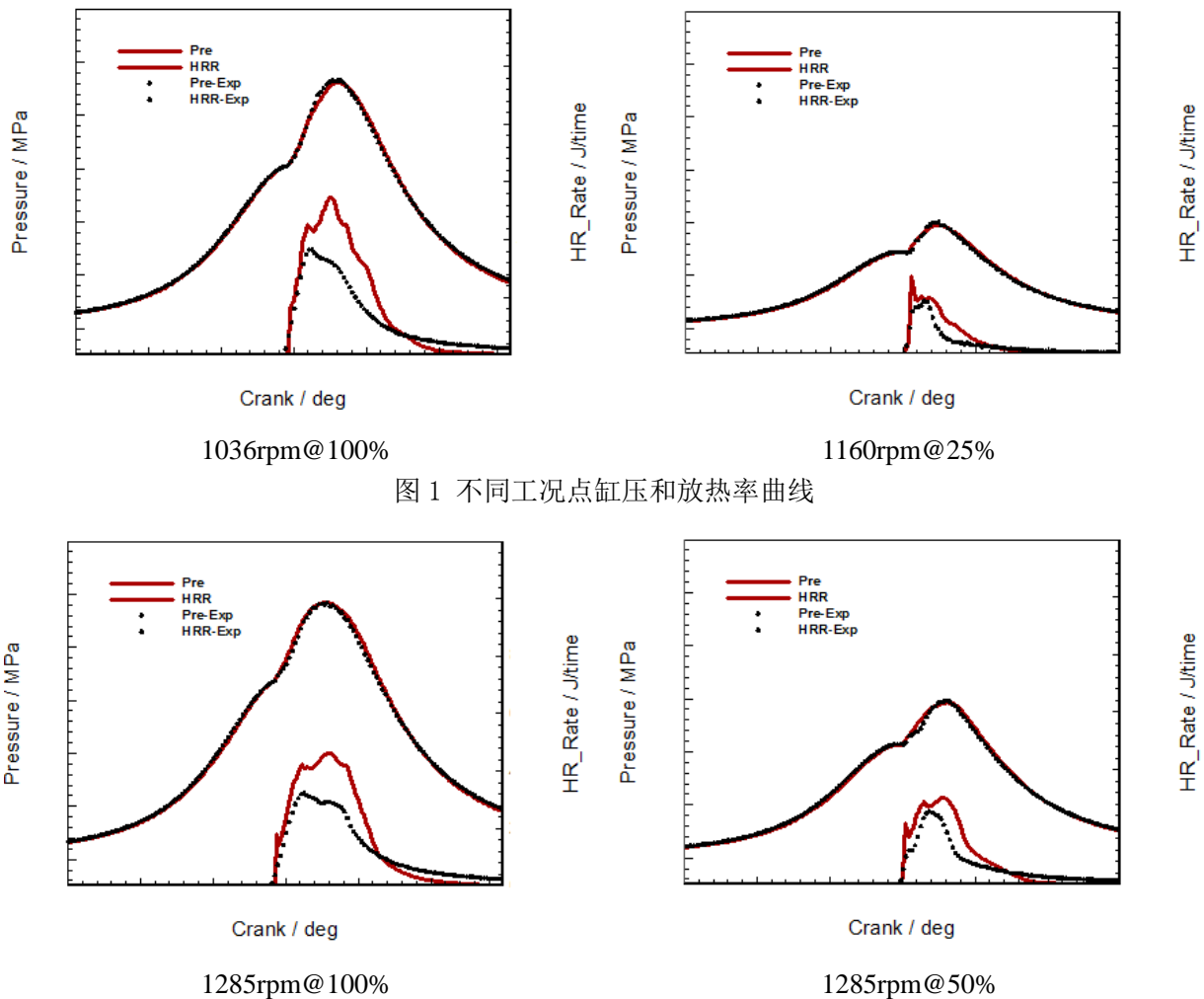


图 1 不同工况点缸压和放热率曲线

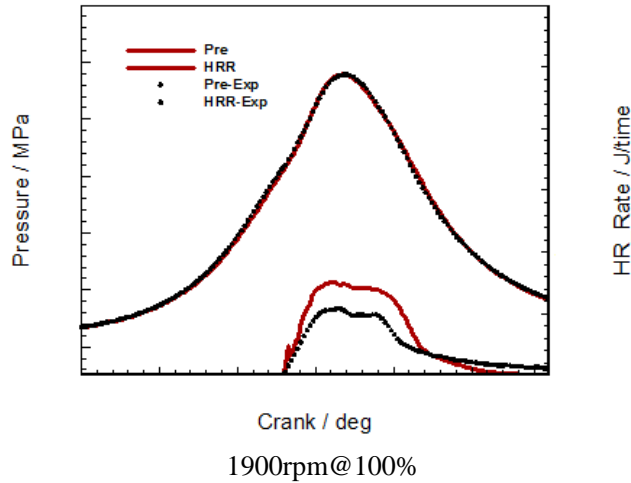


图 1 (续) 不同工况点缸压和放热率曲线

3.2 共轨压力与涡流比匹配

本节讨论不同轨压下，喷油始点和涡流比对燃油经济性和排放的影响规律。由图 2 (a) 可知，低轨压条件下，对于相同的喷油始点，随着涡流比增加，油耗和 NO_x 下降，碳烟排放增加。高轨压工况下，呈现类似的趋势，如图 2 (b) 所示。但是，在某一喷油始点的条件下，油耗随着涡流比的增加呈现先降低后增大的趋势。对比图 2 (a) 和图 2 (b) 可以看出，高轨压系统可使油耗和碳烟降低，但是 NO_x 排放增加。

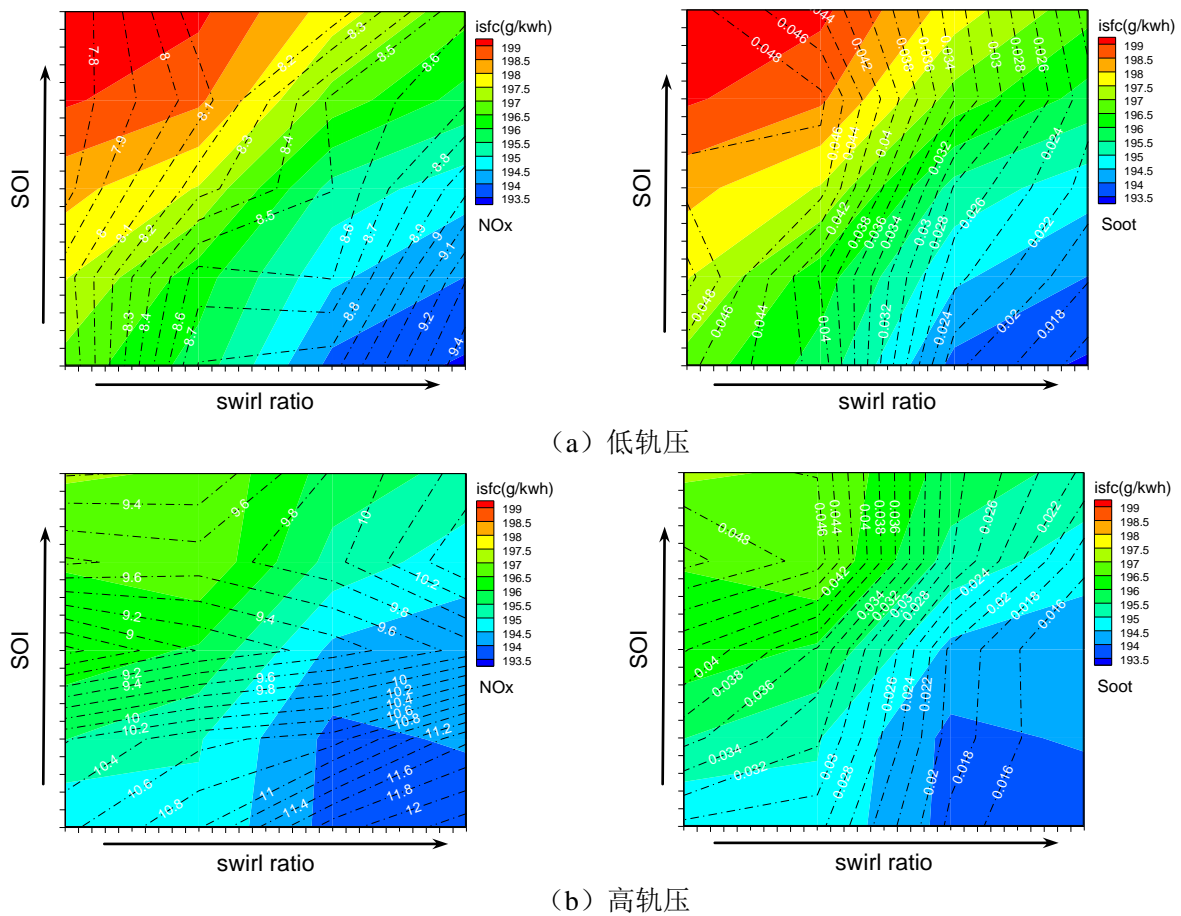


图 2 喷油始点和涡流比对燃油经济性和排放的影响规律 (高轨压)

为便于选型分析, 图 3 给出了不同轨压和不同涡流比工况下, 排放和油耗的变化关系。从中可以看出, 在增压器、喷油器和活塞不变的配置下, 负荷为 100% 时, 低轨压和大涡流比的综合效果较好。但是, 在某个特定的喷油始点, 高轨压配备稍小的涡流比也能取得类似的效果。

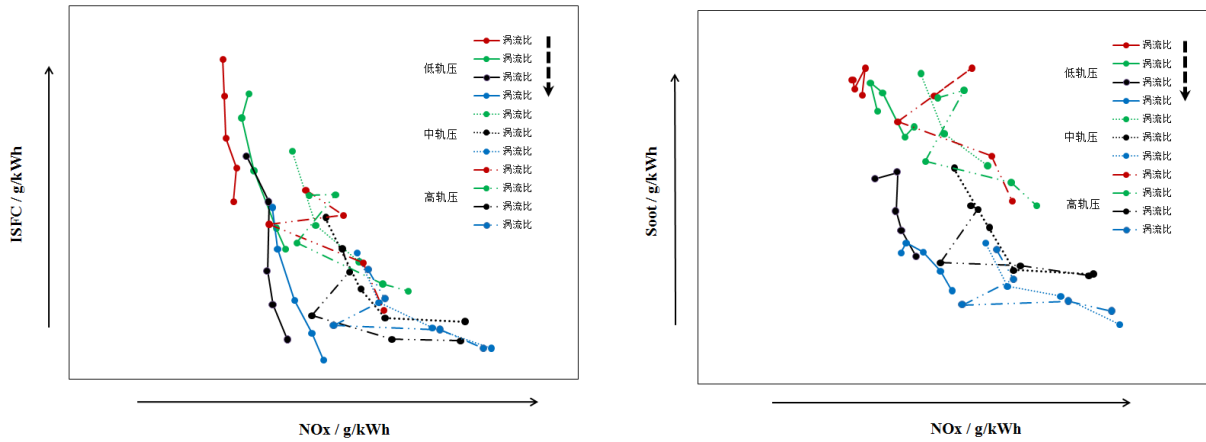
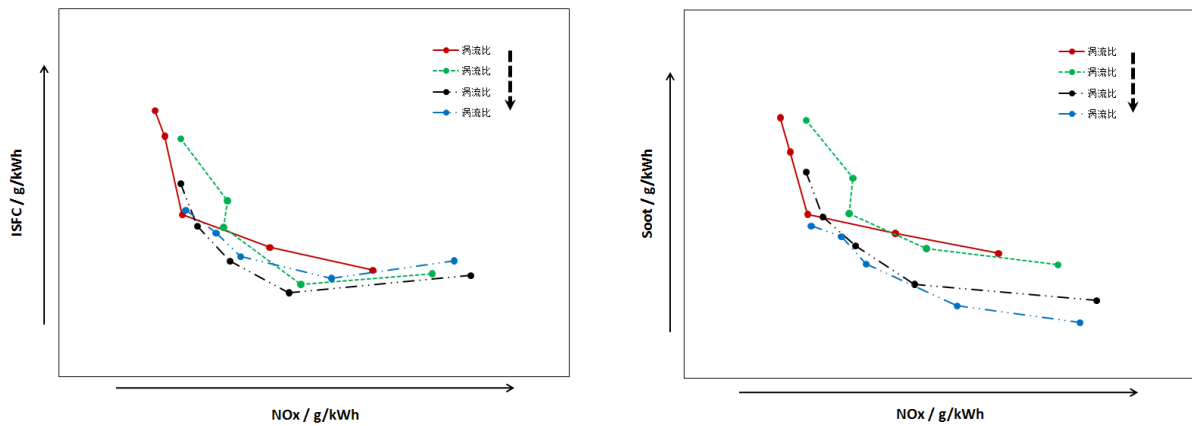
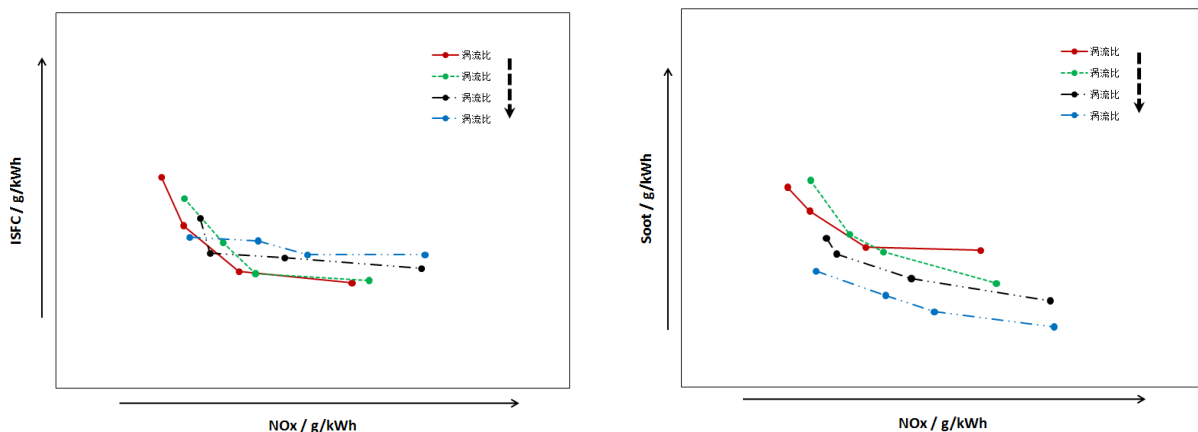


图 3 不同轨压结果对比 (1285rpm@100% 负荷)



(a) 低轨压



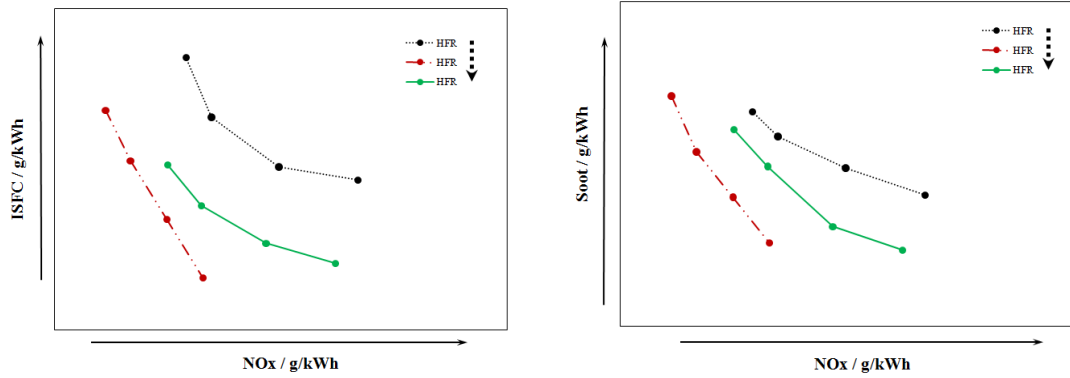
(b) 高轨压

图 4 涡流比对油耗和排放的影响规律 (1285rpm@50% 负荷)

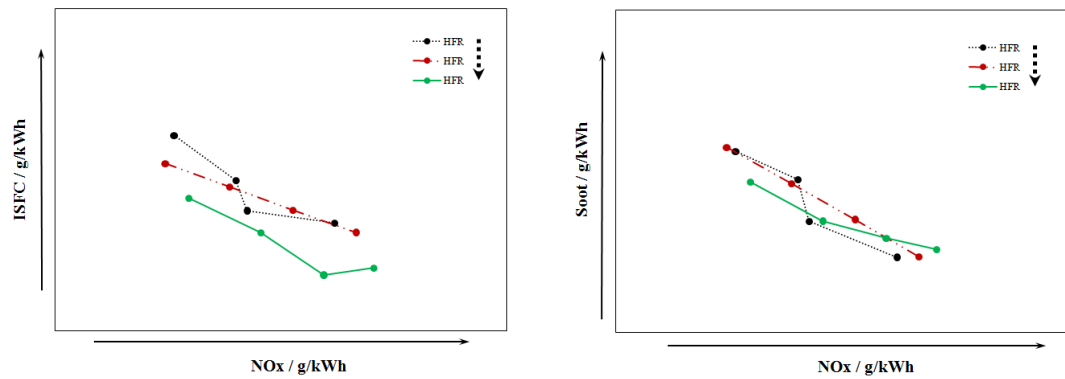
对于 50% 负荷的工况点, 在高轨压和低轨压条件下, 涡流比的变化对经济性和排放影响不大 (如图 4 所示)。因此, 可以根据 100% 负荷点优化的结果确定轨压和涡流比的匹配关系。

3.3 喷油器流量

轨压和涡流比的匹配关系确定之后,选取喷油器流量。低轨压、高涡流比配置下,三种流量的喷油器计算结果如图 5 所示。可以看出,100% 负荷工况点,喷油器流量对结果影响较大,其中流量适中的喷油器能得到较好的燃油经济性和较低排放。50% 负荷工况点,三支喷油器的计算结果相差不大。对于高轨压、较小涡流比的配置,在 100% 负荷工况点,较大流量的喷油器油耗和排放最低。如图 6 所示。50% 负荷工况点,计算结果相差不大。

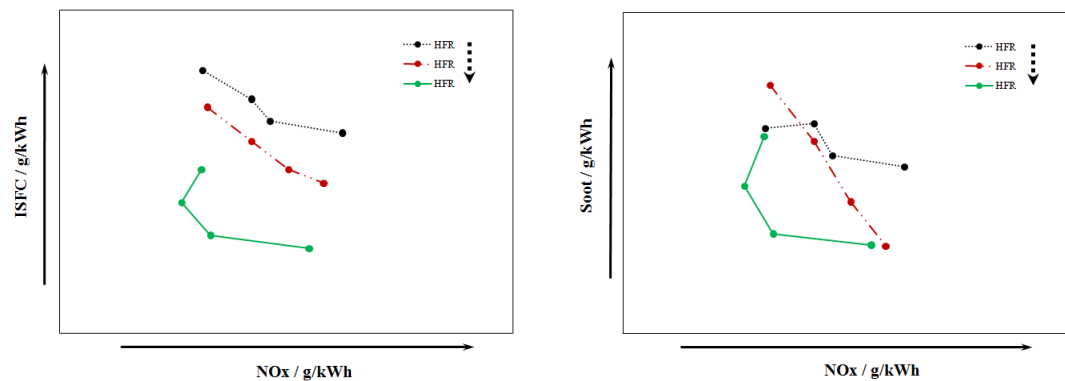


(a) 1285rpm@100% 负荷



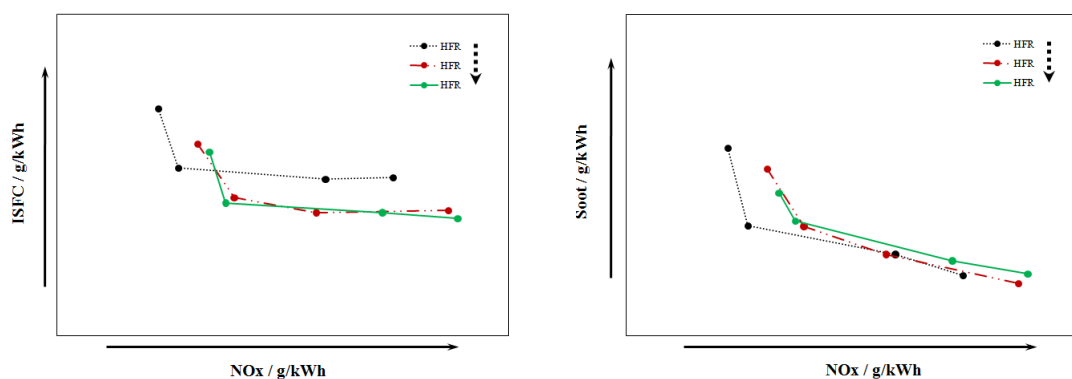
(b) 1285rpm@50% 负荷

图 5 低轨压不同喷油器流量对油耗和排放的影响规律



(a) 1285rpm@100% 负荷

图 6 高轨压不同喷油器流量对油耗和排放的影响规律



(b) 1285rpm@50% 负荷

图 6 (续) 高轨压不同喷油器流量对油耗和排放的影响规律

4 小结

(1) 采用 CONVERGE 模拟了某机型五个工况点的喷雾燃烧过程。计算的缸压和放热率与试验值吻合较好。说明利用 CONVERGE 的建模过程和参数设置比较合理。

(2) 通过计算分析了喷油提前角、轨压和涡流比对油耗和排放的影响规律。结果表明提高轨压有利于降低油耗和碳烟排放， NO_x 排放增加；降低涡流比可以降低 NO_x 排放，碳烟和油耗增加。综合对比，较低轨压和较低涡流比的效果较好。

(3) 确定了轨压和涡流比的配置之后，进一步计算分析了喷油器流量的影响规律。结果表明，100 负荷工况点，流量对结果影响较大；50% 负荷点，不同流量的结果相差不大。

5 参考文献

- [1] 解茂昭, 内燃机计算燃烧学[J]. 内燃机计算燃烧学 (第 2 版) [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2005: 215-226.
- [2] A Three-Dimensional Computational Fluid Dynamics Program for Transient or Steady State Flow with Complex Geometries. CONVERGE2.1.0 Theory Manual 2013-07-15.