

TBD620 柴油机缸内工作过程仿真研究

王 鹏¹, 王 建²

(1. 91526 部队, 广东湛江 524000; 2. 海军驻湛江地区装备修理监修室, 广东湛江 524000)

摘 要: 利用 PRO/E 建立 TBD620 柴油机的进气道和燃烧室三维模型; 并在 FIRE 软件中对进气、压缩和燃烧过程进行仿真计算。分析了 TBD620 柴油机双进气道可控涡流系统对缸内涡流、油气混合和燃烧排放特性的影响。结果表明, 低负荷工况时关闭双进气道可控涡流系统的进气控制阀能显著改善缸内混合气的形成, 提高柴油机燃烧及排放性能。

关键词: 柴油机; 双进气道; 进气控制阀; 工作过程

中图分类号: TK421⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2011)06-13-04

Numerical Simulation of TBD620 Diesel Engine's In-cylinder Working Process

Wang Peng¹, Wang Jian²

(1. 91526 PLA Troops, Guangdong Zhanjiang 524000;

2. Navy Equipment Repair Superintend Office for Zhanjiang District, Guangdong Zhanjiang 524000)

Abstract: The three-dimension substantiality of the TBD620 diesel engine's intake port and combustion chamber was constructed on the Pro/E software platform, and the simulation of the intake, compression and combustion process were done with the fluid analysis software FIRE. The effect of the double controllable intake swirl system on eddies in the cylinder, the mixing of oil and gas, the features of combustion and emissions of the TBD620 diesel engine were analyzed. The results have showed that the intake swirl of the double controllable intake swirl system can ameliorate the diesel engine's mixed gas significantly, the low load combustion and emissions performance of the diesel engine are also substantially increased.

Keywords: diesel engine; double inlets; controllable intake valves; working process

0 引 言

柴油机缸内空气运动直接影响着缸内油气的混合速率和柴油雾化效果, 从而影响缸内燃烧过程。本文以采用双进气道可控涡流进气系统的 TBD620 柴油机为研究对象, 利用 FIRE 软件对其进气、压缩、燃烧过程进行了仿真计算, 分析研究了进气控制阀的关闭与开启对柴油机低负荷工况下燃烧和排放性能的影响。结果表明该柴油机在低负荷时通过关闭进气挡板, 使得进气涡团在缸内有着更好的组织形式, 促进了燃油雾化燃烧, 从而改善了柴油机低负荷工况下的性能。

1 TBD620 柴油机进气系统基本结构

TBD620 柴油机在进气系统中采用了“HALLO 高低负荷最优化可控涡流”技术^[1]。即气缸盖上设置一个螺旋气道和一个直流气道, 在直流气道的进口处设置一个进气挡板, 如图 1 所示。在高负荷时, 打开进气挡板, 利用双气道进气, 由于进气量充足, 喷油雾化质量较好, 采用空间混合可以保证混合气形成和燃烧的需要; 而在低负荷时关闭进气挡板, 利用螺旋气道进气, 其目的是使柴油机在低负荷工况下, 产生较强的进气涡流, 提供较大的进气涡流比, 从而改善混合气形成和燃烧的条件。

收稿日期: 2011-06-22

作者简介: 王鹏(1985-), 男, 工程师, 主要研究方向为船舶管理和装备保障, E-mail: wangjian200200@163.com。

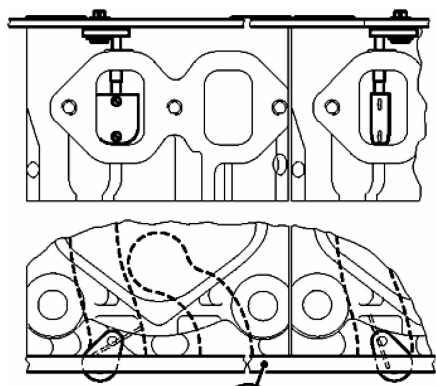
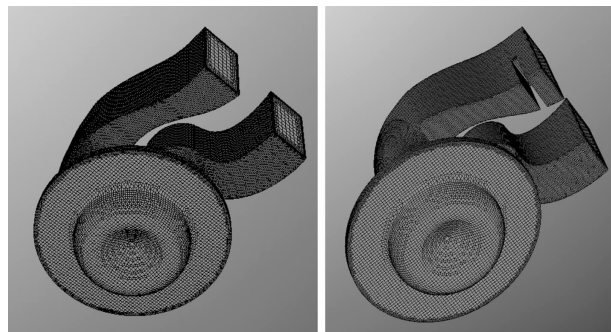


图1 气缸盖气道和进气挡板布置剖面图

2 仿真计算模型的建立及参数设置

2.1 模型的建立

仿真计算模型包括进气道、气门、气门座圈以及气门至活塞上顶面之间的缸内空间，即“进气道—气门—缸内”进气模型。利用三维造型软件 PRO/E 进行建模，建模完成之后，转化为 STL 文件导入 FIRE 软件，利用 FAME Advanced Hybrid 自动网格生成器划分初始网格。定义活塞在进气冲程 TDC 位置时的曲柄转角为 360° ，利用 FAME Engine Plus 模块进行了 $360^\circ \sim 838^\circ \text{CA}$ 的动态网格划分。图 2 给出了 360°CA 时的网格图，它大约有 50 万网格单元，由于进气冲程排气门始终关闭，所以排气道不包含在求解域中。

图2 360°CA 时进气控制阀板关闭和开启状态时的网格分布图

2.2 参数设置

湍流模型选用四方程模型 $k-\varepsilon-f$ ，该模型的计算精度和稳定性都较好，但是计算量要比双方程模型 $k-\varepsilon$ 大 15% 左右；燃烧模型选用 Eddy Break-up；动量方程的差分格式采用 MINIMOD Relaxed 格式；连续方程为中心差分格式；能量等方程使用迎风格式^[2]。

TBD620 柴油机作为某型船舶发电机的原动力，70% ~ 80% 的时间运行在转速 1 500 r/min、

25% 负荷工况下，本文以此工况作为研究对象。设定进气道入口为压力边界，压力值为整机台架试验中柴油机压力传感器测得的随曲轴转角变化的瞬态值；壁面均采用此工况下的温度边界条件，气门与活塞壁面为移动壁面边界；缸内流体的初始条件设置为进气门开启时刻的气体状态；喷油规律设置为柴油机小喷孔特殊喷油器的喷油规律。

3 进气控制阀对涡流比的影响

由图 3 可知，在整个进气冲程中，进气控制阀关闭状态下的涡流比较大。当进气控制阀开启时，涡流比在 492°CA 处达到最大值 3.93，当进气控制阀关闭时，涡流比在 507°CA 处达到最大值 4.37。但两者随后逐渐衰减，这是因为涡流的旋转平面与活塞顶面平行，在压缩过程中期半径基本不变，在进气后期主要由于角动量的耗散而呈单调下降趋势。这是因为由于活塞的上行，凹形燃烧室产生了较强的径向挤流，对缸内进气过程中形成的缸内涡流有较大影响。在接近压缩上止点时，由于缸内滚流减弱，涡流又有小幅的增大^[3]。不过在喷油开始时刻，进气控制阀关闭状态下涡流仍然较开启状态下大 15.87%。

比较进气控制阀开启与关闭两种状态下涡流比变化规律可知，在相同的燃烧室结构下，进气控制阀板的关闭与开启改变了进气道空气流场，进气控制阀板关闭时，绝大部分空气通过螺旋气道进入缸内，一方面，空气在缸内形成较强烈的进气涡流，缸内气体的涡流强度较大；另一方面，进气控制阀板的关闭导致气道的流动损失变大，进气充量变小。由于双进气道可控涡流系统产生的缸内独特的流动特性，在低负荷时能大大改善混合气的组织形成。

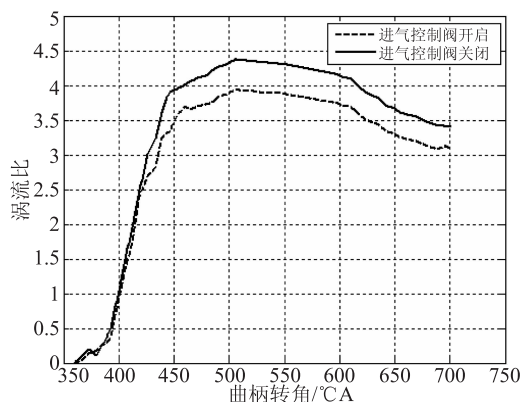


图3 涡流比随曲轴转角的变化

4 进气控制阀对缸内油气混合的影响

图 4 为 25% 负荷工况下 710°CA 处缸内混合气

浓度分布图。

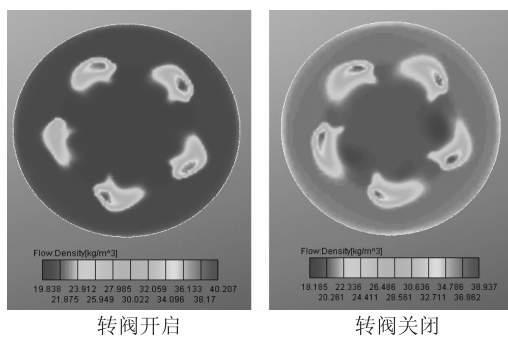


图 4 710 °CA 处缸内混合气浓度分布

由图可知, 在 710 °CA 处, 进气控制阀关闭状态下, 由于缸内涡流比较大, 喷雾沿着周向发展的速度较大, 不同喷孔油束之间的间隔较小, 油气混合较为均匀, 这对改善低负荷工况下初期燃烧效果非常有利。而进气控制阀开启状态下, 燃油集中在喷嘴附近, 雾化效果自然较差。这是因为低负荷工

况下, 燃油喷射压力较低, 油气混合主要依赖缸内气体的涡流运动, 进气控制阀开启状态下涡流强度较弱, 燃油分布比较集中。而进气控制阀关闭状态下, 涡流运动强烈, 燃油迅速扩散, 分布较为均匀。

5 进气控制阀对燃烧排放特性的影响

图 5 为 25% 负荷工况下的温度场。可以看到在 715 °CA 处, 进气控制阀关闭状态下, 缸内强烈的涡流运动使得燃油周向运动增加, 油束分布均匀, 滞燃期缩短。在 720 °CA 处, 转阀开启状态下油束分布集中, 高温区域较少; 而转阀关闭状态下油束分布较为分散, 而且出现多而明显的高温区域。725 °CA 处, 转阀关闭状态下缸内油束附近已不存在明显的低温区, 说明燃油雾化较好, 已经开始充分燃烧; 而转阀开启状态下只有两个油束温度较高, 燃烧较为充分, 其余三个油束温度较低。

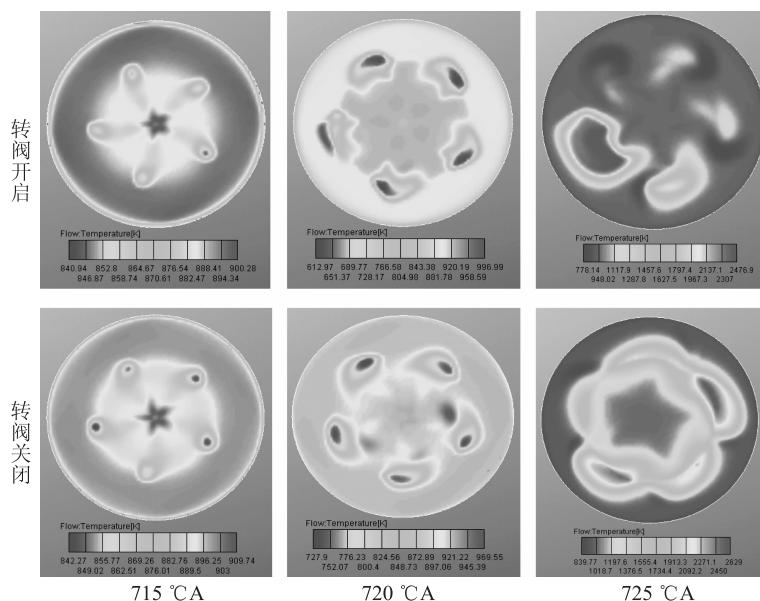


图 5 不同曲柄转角下的温度场

从图 6 中缸内平均压力和平均温度曲线可知, 转阀开启状态下缸内最高燃烧压力为 7.54 MPa, 最高平均温度为 1 785 K; 而转阀关闭状态下, 缸内最高燃烧压力为 8.40 MPa, 提高 11.4%, 最高平均温度为 1 824 K, 提高 39 K, 并且两者出现的时间都有所提前。因此在 25% 负荷工况下, 进气控制阀关闭后, 柴油机前期燃油雾化和燃烧得到明显改善, 动力性明显增强。

图 7 为 25% 负荷工况下缸内 NO_x 和 soot 质量分数。由图可知, 转阀开启状态下 NO_x 质量分数

较低而 soot 质量分数较高; 而转阀关闭状态下恰好相反。这是因为转阀关闭状态下, 缸内强烈的涡流运动对燃油雾化燃烧起了促进作用, 使得缸内局部温度增加, 缸内 NO_x 生成量也随之增加。由于 25% 负荷工况下循环喷油量较小, 燃烧持续期较短, 所以 750 °CA 后不再产生 NO_x 。在转阀开启状态下涡流强度较小, 燃油雾化质量较差, 缸内存在明显的富油区, 所以其缸内 soot 质量分数较高。因此在 25% 负荷工况下, 进气控制阀关闭后, NO_x 生成量增加, 而 soot 减小。

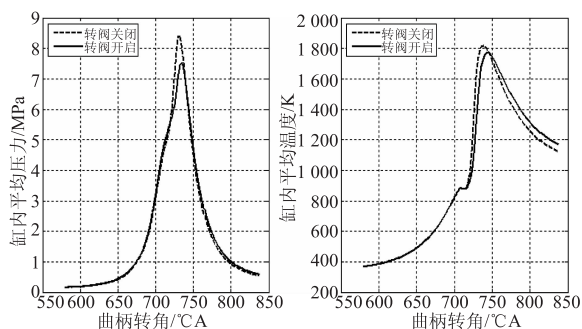
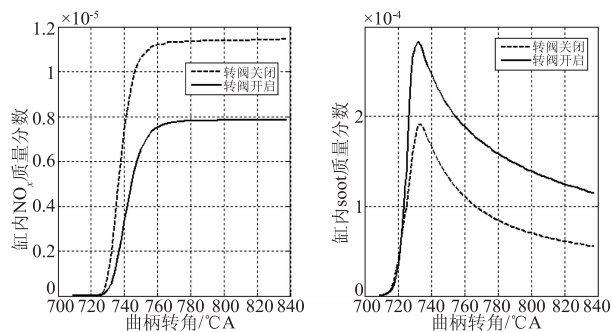


图 6 缸内平均压力和平均温度

图 7 缸内 NO_x 和 soot 质量分数

6 总 结

综上所述,在 25% 负荷工况下,关闭进气控制阀有利于缸内混合气的形成,改善燃油雾化燃烧的效果,增加柴油机的动力性;与此同时,柴油机 NO_x 生成量有所增加,而 soot 生成量有所降低。因此,当 TBD620 柴油机运行在低负荷工况下时,通过关闭进气控制阀,能较好地改善柴油机燃烧和排放性能。

参考文献

- [1] 常汉宝,张煜盛,黄锦星. TBD620 柴油机低负荷性能研究[J]. 内燃机工程,2002,23(3):30-32.
- [2] 施爱平,叶丽华,燕明德,等. 柴油机缸内工作过程的数值模拟[J]. 农业机械学报,2009,40(3):40-45.
- [3] 常丽,庞华廷. 进气参数对柴油机排放及性能的影响[J]. 车用发动机,2006(4):24-27.

(上接第 9 页)

气体发动机和使用传统燃料的发动机相比,效率相当,排放低,符合当前节能减排的要求,因此越来越受到全球的关注,随着新技术的应用,气体发动机有着不可限量的发展潜力。

参考文献

- [1] Lars M. Nerheim, Dr.-Ing. Rune Nordrik. Bergen gas engine developments[C]. CIMAC Paper no. 71, 2004.
- [2] Johann Klausner, Christian Trapp, et al. The gas engine of the future-innovative combustion and high compression ratios for highest efficiencies[C], CIMAC Paper no. 312, 2010.
- [3] Dr. Guenther Herdin, Dipl.-Ing. Friedrich Gruber, et al. Miller Cycle-efficiency Potentials for Gas Engines[C]. CIMAC Paper no. 197, 2004.
- [4] Dr. Joel Hiltner, Dr. Scott Fiveland. Development considerations for lean burn natural gas engines employing the miller cycle[C]. CIMAC Paper no. 2, 2004.
- [5] Kazuhisa OKAMOTO, Fu-Rong ZHANG, Satoshi MORIMOTO, et al. Development of a high-performance gas engine operating at a stoichiometric condition-effect of miller cycle and EGR[C]. CIMAC 1998.
- [6] MICHIIYASU ISHIDA, SHOJI NAMEKAWA, et al. Newly

developed mitsubishi MACHII-SI and CM-MACH gas engines, enhancing and expanding utilization of energy and specialty gases[C]. CIMAC Paper no. 109, 2010.

- [7] Koji Yamanaka, Shin Nishioka, Yosuke Shiraga, et al. Development of pre-chamber spark plug for gas engine[C]. CIMAC Paper no. 182, 2010.
- [8] S. Goto, Y. Ono, Y. Nishi, S. Nakayama. Development of advanced gas engine 22AG with high bmep, high efficiency, ignited by micro-pilot MDO[C]. CIMAC Paper no. 8-12, 2001.
- [9] Kenji Nakagawa, Teruhiro Sakurai, Fujio Shoji. Study of lean burn gas engines using pilot fuel for ignition source[C]. SAE Paper no. 982480, 1998.
- [10] Shinji Yasueda, shigemi Ono, Kuninori Itou, et al. Development of high efficiency KU30GA gas engine with micro-pilot ignition[C]. CIMAC Paper no. 8-10, 2001.
- [11] Akira Tsunoda, Takayuki Yamamoto, Shinji Yasueda, et al. Further development of advanced gas engine KU30GA (MACH-30G)[C]. CIMAC Paper no. 120, 2004.
- [12] Stephen G. Dexter, J. Vincent Serve, Frank Berghof. Micro-pilot, the gas combustion system to challenge the diesel engine[C]. CIMAC Paper no. 8-05, 2001.