

柴油机双卷流燃烧系统排放特性试验

苏立旺¹, 李向荣^{1*}, 李杰², 赵陆明¹, 张长岭³, 刘福水¹

(1. 北京理工大学机械与车辆学院, 北京 100081; 2. 河北华北柴油机有限责任公司, 石家庄 050081;
3. 北京比特英泰动力技术有限公司, 北京 100081)

摘要:为合理评价双卷流燃烧系统的排放水平, 在单缸机试验台架上对双卷流燃烧室和某国 III 柴油机使用的 TCD 燃烧室的颗粒、NO_x 排放、燃油消耗率、缸内压力等进行了测量, 并对燃烧放热率和缸内平均温度进行了分析。结果表明, 外特性工况下, 使用双卷流燃烧室可比 TCD 燃烧室减少颗粒排放 7%~47%, 缩短燃烧持续期 1°~6°, 降低油耗 0.75%~3.05%; 部分负荷工况下, 由于油束贯穿度较小, 缸内燃烧以空间燃烧为主, 采用双卷流燃烧室时其卷流作用不明显, 排放性能与 TCD 燃烧室相差不大。该研究可为双卷流燃烧系统在降低柴油机排放方面的应用提供指导。

关键词: 柴油机, 排放控制, 燃烧装置, 试验, 双卷流燃烧系统

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.21.008

中图分类号: TK421.75

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-21-0060-06

苏立旺, 李向荣, 李杰, 等. 柴油机双卷流燃烧系统排放特性试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 60-65.

Su Liwang, Li Xiangrong, Li Jie, et al. Experiment of emissions characteristics for double swirl combustion system in diesel engine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(21): 60-65. (in Chinese with English abstract)

0 引言

柴油机因其较好的动力性能和燃油经济性能在交通运输和农业工程领域得到广泛的应用, 但是其在污染物排放特性(尤其是颗粒排放和 NO_x 排放)却相对较差, 这是制约柴油机在“节能减排”背景下进行持续发展的主要问题之一^[1-5]。优化燃烧系统、提升燃烧性能是柴油机进一步实现动力性能提升、燃油经济性能改善以及排放性能优化的主要方式之一^[6-10]。柴油机混合气形成和燃烧与燃烧室有密切关系, 而油气混合质量和燃烧效果直接影响到柴油机排放性能。天津大学提出的 BUMP 燃烧室^[11-12]、大连理工大学提出的 TR (three rapidity) 燃烧室^[13-14]以及 Jaichandar 等提出的环形燃烧室^[15]等均表现出了良好的排放特性, 而道依茨公司在其欧 III 排放机型 TCD2015 的开发上, 采用了全新设计的燃烧室代替了原 ω 型燃烧室。这些都说明了燃烧室的结构设计及其与油、气的匹配在现阶段仍可

起到降低柴油机排放的作用。北京理工大学提出的以双卷流燃烧室为核心的双卷流燃烧系统已在 132~150 mm 缸径柴油机上推广并获得成功, 在应用双卷流燃烧系统后, 柴油机的动力性能和经济性能有较大改善^[16-18], 但针对其排放性能的研究尚未全面展开。双卷流燃烧系统可利用燃烧室的特殊结构使混合气在燃烧室空间内形成内室和外室 2 个区域的卷流, 提高燃烧室空间空气利用率, 减少混合气局部过浓现象的产生^[19-20]。而油气混合物浓度局部过浓是柴油机高碳烟排放的主要原因之一^[21-23], 双卷流燃烧室对混合气的这种分流作用可在一定程度上降低柴油机的颗粒排放, 这与国 IV、国 V 技术路线中缸内降低颗粒排放、缸外处理 NO_x 的思路是十分契合的^[24-25]。

本研究通过试验得到双卷流燃烧系统的颗粒和 NO_x 排放特性, 并对试验结果进行整理分析, 期为双卷流燃烧系统在降低柴油机排放方面的应用提供指导。

1 双卷流燃烧系统原理

北京理工大学于 20 世纪 80 年代开始对双卷流燃烧系统展开研究, 目的是通过燃烧室的特殊结构促进燃烧室内气体卷流运动, 达到加快油、气混合速度的目的。其原理可见图 1, 整个燃烧室空间被弧脊和喷孔的连线分为内室和外室, 喷孔中喷出的

收稿日期: 2013-07-08 修订日期: 2013-09-23

基金项目: 柴油机密集喷雾与场协同混合机制研究 (50876012)

作者简介: 苏立旺 (1987-), 男, 河北唐山人, 博士生, 主要从事内燃机燃烧与排放性能优化研究。北京 北京理工大学机械与车辆学院发动机研究所, 100081。Email: suliwang1987@163.com

*通信作者: 李向荣 (1967-), 男, 北京人, 博士, 教授, 主要从事内燃机燃烧过程研究。北京 北京理工大学机械与车辆学院发动机研究所, 100081。Email: lixr@bit.edu.cn

油束与弧脊相撞击，油束被一分为二，内室形成向燃烧室中心方向的燃油运动，外室形成向燃烧室外缘方向的燃油运动，这样燃油便存在 2 个方向上的卷流运动，从而提高燃烧室空间的空气利用率，改善油、气混合质量，加快燃烧速度。

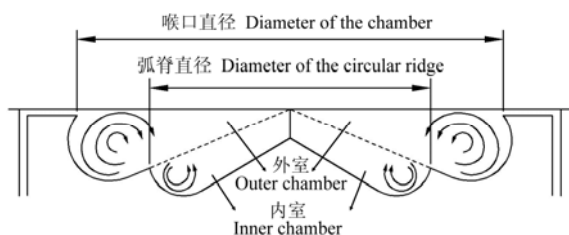


图 1 双卷流燃烧系统原理图

Fig.1 Principle of double swirl combustion system(DSCS)

2 试验装置与试验方法

2.1 试验装置

为了全面了解双卷流燃烧室对排放的影响，以降低颗粒排放为优化目标对双卷流（double swirl, DS）燃烧室结构重新进行了优化设计，优化的结构参数主要包括喉口直径、弧脊直径、内外室容积比（见图 1）等。综合考虑燃烧室热负荷、油束匹配、油束贯穿度等因素，最后确定双卷流燃烧室喉口直径 102 mm、弧脊直径 66 mm、内外室容积比 0.22，其外形轮廓见图 2a。为合理评价双卷流燃烧系统的排放水平，试验的对比燃烧室选择达到国Ⅲ排放的道依茨 TCD2015 柴油机所使用的燃烧室（TCD 燃烧室），其轮廓图如图 2b 所示。TCD 燃烧室外形及原理与 DS 燃烧室有相似之处，但出现较晚。图 3 是 2 种燃烧室活塞的实物照片。

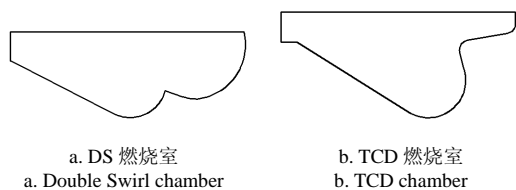


图 2 燃烧室外形轮廓图

Fig.2 Sketch of chambers



图 3 试验活塞实物图

Fig.3 Picture of tested pistons

试验在 1132Z 模拟增压单缸机实验台上进行，单缸机缸径 132 mm，冲程 145 mm，连杆长度 262 mm，最高转速 2 500 r/min，最高燃烧压力 19.0 MPa，四气门，缸盖进气道为直气道和螺旋气道组合式；试验所用交流电力测功机主要包括：电机、变频及控制系统、主机控制及数据采集系统等，由凯迈机电有限公司生产，最大吸收功率 160 kW，最高转速 4 500 r/min，扭矩控制精度 $\pm 0.2\%FS$ ，转速控制精度 $\pm 2 r/min$ ；为精确测量发动机动态油耗，单缸机试验台架还配备了 CMF 发动机瞬时油耗仪，由上海同圆环保科技有限公司生产，响应时间小于 0.1 s，测量误差小于 0.12%，并具有自动除气泡功能；试验中颗粒测量使用的是 MAHA 公司生产的 MPM-4 颗粒物分析仪，量程 $0 \sim 1\,000 mg/m^3$ ，精度 $\pm 0.01 mg/m^3$ ， NO_x 测量使用 NO_x 分析仪，由 HORIBA 公司生产，设备型号 MEXA-720 NO_x ，量程 $0 \sim 3\,000 \times 10^{-6}$ ，测量精度 $\pm 1 \times 10^{-6}$ ；单缸机试验系统还配备了瞬态数据采集分析系统-Kibox，包括进/排气压力传感器、缸压传感器、针阀升程传感器；机油、冷却水和燃油恒温系统控制精度为 $\pm 2^\circ C$ 。

2.2 试验方法

分别对 2 种活塞进行试验，试验用增压单缸机试验台参照 TCD 系列柴油机设计，主要结构参数如缸径、冲程、连杆长度均与 TCD2015 柴油机相同，为进一步保证 TCD2015 柴油机的匹配水平，试验中压缩比、喷油器型号均与 TCD2015 柴油机相同，喷油器喷孔夹角为与 DS 燃烧室、TCD 燃烧室分别进行匹配得到的最佳值，对应值分别为 160° 、 145° ；喷孔直径相同，均为 0.2 mm。除此之外，涡流比、功率、配气凸轮、供油凸轮及喷油定时、单体泵、进气压力和温度、水温和机油温度等保持不变。为保证机油消耗情况一致，缸套、活塞径向外形尺寸及活塞环均相同。

试验在外特性工况和部分负荷工况下进行，外特性工况转速选择接近 13 工况法^[26]转速（1 300、1 600、1 900 r/min）和最大转速（2 100 r/min）；部分负荷工况转速选择 13 工况法中排放权重较大的 1 600 r/min 下的 25%、50%、75%和 100%负荷点。

3 试验结果与分析

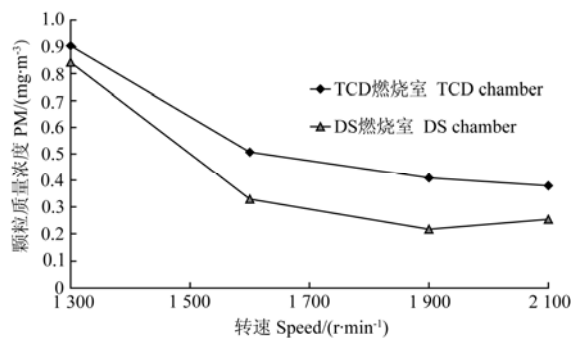
3.1 外特性工况排放性能与油耗分析

从图 4a 可以看出，在外特性工况各转速下，使用 DS 燃烧室颗粒排放比 TCD 燃烧室低 7%~47%，DS 燃烧室加快油、气混合并使缸内油气混合物分布更加均匀的作用显著降低了其颗粒排放。

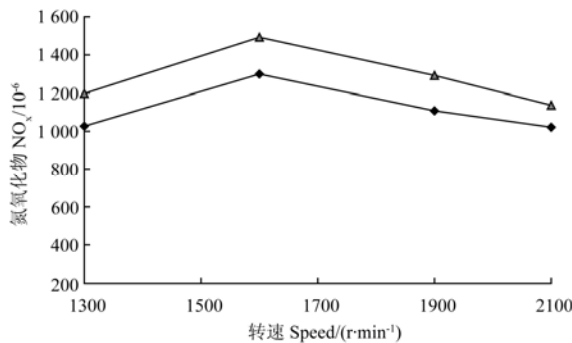
由图 4b 可知，在外特性各工况点，DS 燃烧室

NO_x 排放均高于 TCD 燃烧室, DS 燃烧室由于喉口直径较大,加之 DS 燃烧室加快油、气混合的作用,使其燃烧温度较高,产生了较多的 NO_x 排放。根据对排放数据的分析,选择最大处理能力 10 g/(kW·h) 的 SCR (selective catalytic reduction) 系统可将升高的 NO_x 排放降低到低于国IV水平。需要指出的是,在后续试验中通过双卷流系统与供油、后处理系统的同时改进已使柴油机排放水平达到了预期目标。

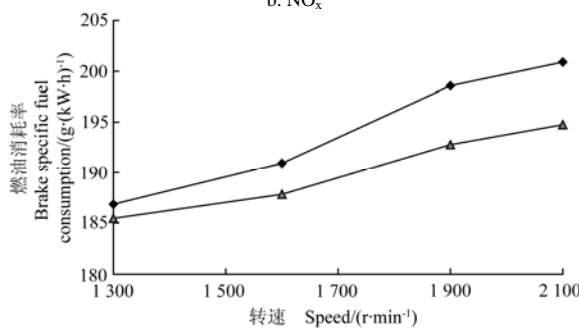
燃油消耗率是体现发动机经济性能的重要指标,从图 4c 可以看出,在外特性工况下,DS 燃烧室表现出了良好的经济性,在标定点其燃油消耗率较 TCD 燃烧室下降了 6.1 g/(kW·h),在各转速下,使用 DS 燃烧室的燃油消耗率比 TCD 燃烧室低 0.75%~3.05%,这对经济性的优化而言是十分可观的。



a. 颗粒
a. PM



b. 氮氧化物
b. NO_x



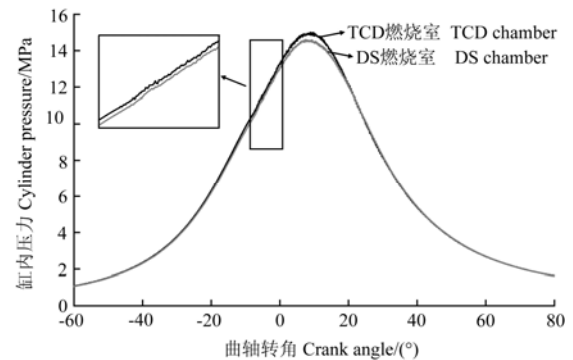
c. 燃油消耗率
c. Brake specific fuel consumption

图4 外特性排放与油耗试验结果

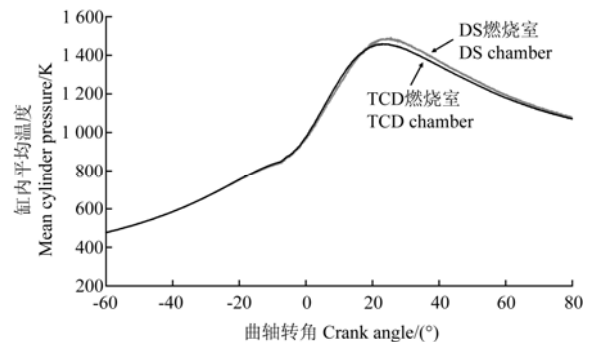
Fig.4 Comparison of emissions and brake specific fuel consumption

3.2 缸内工作过程分析

从图 5a 中可以看出,使用 TCD 燃烧室时,其缸内最高燃烧压力明显较 DS 燃烧室高,但是在上止点前,其较高的燃烧压力会导致压缩负功较大,因此二者总的指示功相当,输出功率相同,均为 50 kW,这也是排放升级时不降低动力性指标所要求的。DS 燃烧室缸内压力较低的原因为:燃油触脊阶段燃烧室壁面对燃油和缸内空气有阻隔作用,部分触脊燃油无法与空气接触,导致其在燃烧初期燃烧速度较慢,燃烧压力较低。



a. 缸内压力曲线
a. Cylinder pressure



b. 缸内平均温度曲线
b. Mean cylinder temperature

注: 试验转速为 2 100 r/min.
Note: Test speed is 2 100 r/min.

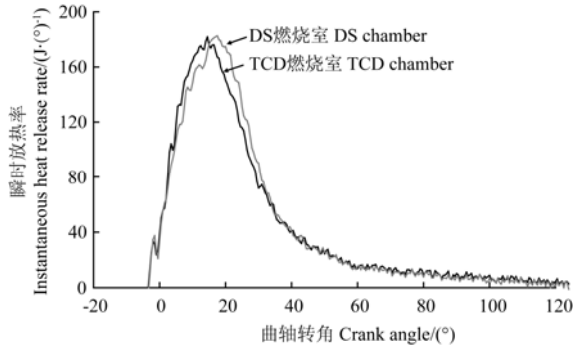
图5 缸内压力和平均温度曲线

Fig.5 Comparison of cylinder pressure and mean cylinder temperature

NO_x 的生成与缸内温度密切相关^[27-28]。从图 5b 中可以看出两曲线交点在上止点后 18°左右,在此之前 TCD 燃烧室的温度较高;而在此之后 DS 燃烧室的温度开始明显高于 TCD 燃烧室,并且逐渐达到峰值。在柴油机中,NO_x 主要在峰值温度附近生成^[29-30],因此在高温段较高的燃烧温度是 DS 燃烧室生成较多 NO_x 的主要原因。

从图 6 可知,在上止点后 15°之前,DS 燃烧室的瞬时放热率低于 TCD 燃烧室的,这与图 5a 中 DS 燃烧室的缸内压力较低是相对应的。根据发动机基本燃烧特性可知,缸内最高燃烧温度一般出现在最

高燃烧压力之后，与 TCD 燃烧室相比，DS 燃烧室中瞬时放热速率较快阶段刚好出现在最高燃烧压力之后，这一阶段的快速燃烧进一步加快了 DS 燃烧室中燃烧温度的升高，这便出现了图 5b 中 DS 燃烧室中缸内温度较高的分析结果。



注：试验转速为 2 100 r/min。
Note: Test speed is 2 100 r/min.

图 6 瞬时放热率曲线

Fig.6 Comparison of instantaneous heat release rate

从图 7 中明显看出在上止点后 20°左右时 DS 燃烧室累积放热百分比开始明显大于 TCD 燃烧室，说明其燃烧中后期燃烧速度较快，这对颗粒物的氧化也是有利的。

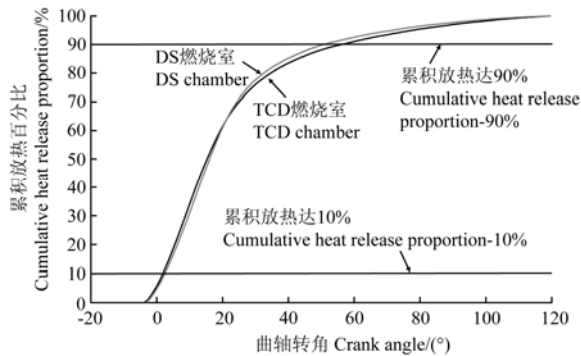


图 7 累积放热曲线

Fig.7 Comparison of cumulative heat release proportion

经过分析得到使用 2 种燃烧室时的 10%~90% 累积放热燃烧持续期见图 8，从图 8 可以看出，转速由低到高，DS 燃烧室燃烧持续期较 TCD 燃烧室分别降低 1°、3°、5°和 6°，最高降低幅度达到 11%左右。这也是图 4c 所示的 DS 燃烧室的燃油消耗率低的原因。

不同转速下的喷油定时、喷油持续期以及最高燃烧压力数据列于表 1。

3.3 部分负荷工况排放性能分析

图 9 是部分负荷工况下使用不同燃烧室时的排放试验结果。当负荷较小时，由于循环供油量小，喷油压力低，油束贯穿度较小，此时燃油无法与 DS 燃烧室弧脊发生作用，在两种燃烧室中均以空间燃烧为主，所以其颗粒和 NO_x 排放相差不大；当

负荷增大时，随着油束贯穿度的增大，燃油与弧脊的碰撞作用加强，DS 燃烧室的卷流作用开始得到体现。所以出现了图中小负荷时两种燃烧室排放性能相差不大，大负荷时 DS 燃烧室较 TCD 燃烧室颗粒排放下降、NO_x 排放上升的结果。

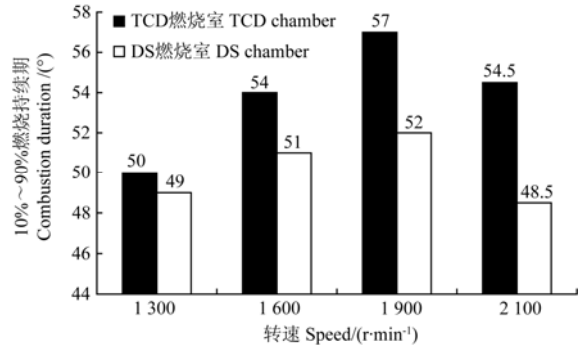


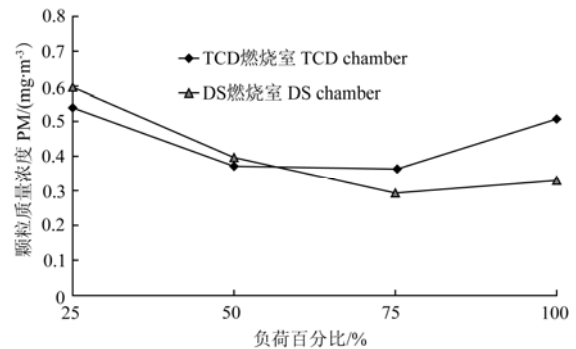
图 8 燃烧持续期对比

Fig.8 Comparison of combustion duration

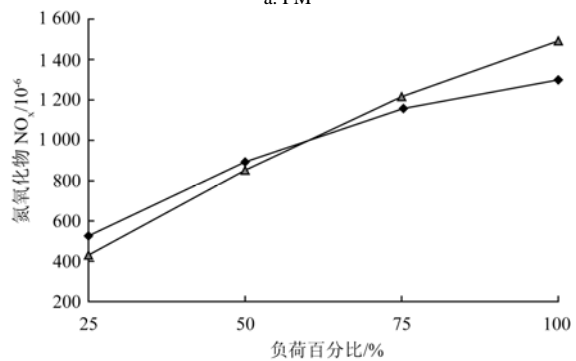
表 1 外特性喷油定时、持续期和最高燃烧压力

Table 1 Injection timing, injection duration and peak pressure

转速 Speed (r·min ⁻¹)	喷油定时 Injection timing/(°)	喷油持续期 Injection duration/(°)	TCD 燃烧室最高 DS 燃烧室最 高燃烧压力 Peak pressure for Peak pressure for	
			TCD chamber/MPa	for DS chamber/MPa
1300	-6	28	16.2	15.5
1600	-8	28.5	16.5	15.9
1900	-9	29.5	15.0	14.5
2100	-10	31	15.0	14.5



a. 颗粒
a. PM



b. 氮氧化物
b. NO_x

图 9 部分负荷工况排放试验结果

Fig.9 Comparison of emissions at conditions of partial loads

4 结 论

1) 在外特性工况下, 采用 DS 燃烧室时, 大幅降低了柴油机的颗粒物排放, 且有效降低了燃油消耗率。DS 燃烧室独特的卷流作用加速了柴油机缸内的油气混合过程并促使缸内油气混合物分布更加均匀, 明显缩短了燃烧持续期, 显著地提升了柴油机的综合性能。

2) 部分负荷工况下, 采用 DS 燃烧室时排放性能与 TCD 燃烧室相差不大。部分负荷下, 由于油束贯穿度较小, DS 燃烧室中燃油无法与弧脊发生作用, 缸内燃烧以空间燃烧为主, 因此使用 DS 燃烧室时其排放特性与 TCD 燃烧室接近。

【参 考 文 献】

- [1] Li Xiangrong, Sun Zuoyu, Du Wei, et al. Research and development of double swirl combustion system for a DI diesel engine[J]. *Combustion Science and Technology*, 2010, 182(8): 1029—1049.
- [2] 陈海龙, 欧阳光耀, 黄康. 增压式高压共轨柴油机燃烧排放特性研究[J]. *内燃机工程*, 2012, 33(6): 39—44.
Chen Hailong, Ouyang Guangyuan, Huang Kang. Research on the characteristics of combustion and emissions of augment hp common-rail diesel engine[J]. *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*, 2012, 33(6): 39—44. (in Chinese with English abstract)
- [3] 孙崎. 满足车用国IV排放标准的 EGR 与 DOC 技术的应用研究[J]. *内燃机工程*, 2012, 33(2): 6—11.
Sun Qi. Application of EGR with DOC in vehicle diesel engine to comply with China IV emission regulation[J]. *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*, 2012, 33(2): 6—11. (in Chinese with English abstract)
- [4] 尹必峰, 杨宽宽, 贾和坤, 等. 低排放轻型车用柴油机结构及燃烧系统的优化[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(4): 36—44.
Yin Bifeng, Yang Kuankuan, Jia Hekun, et al. Optimization of structure and combustion system for a low-emission light-duty diesel engine[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(4): 36—44. (in Chinese with English abstract)
- [5] Henning Baumgarten, Knut Habermann, Rolf Weinowski. Low emission concept for SULEV[J]. SAE Paper 2001-01-1313.
- [6] Hu Z, Somers L M T, Davies T, et al. A study of liquid fuel injection and combustion in a constant volume vessel at diesel engine conditions[J]. *Fuel*, 2013, 107(1): 63—73.
- [7] 卢贵忠, 王清元, 余继文, 等. 引导喷射燃烧改善单缸柴油机性能的研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(4): 92—94.
Lu Guizhong, Wang Qingyuan, Yu Jiwen, et al. Experimental research on guiding fuel injection to improve performance of single cylinder diesel engine[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2004, 20(4): 92—94. (in Chinese with English abstract)
- [8] 王忠, 黄兆春, 王林, 等. 降低柴油机排放的多因素匹配试验研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(6): 120—124.
Wang Zhong, Huang Zhaochun, Wang Lin, et al. Multi-factor experimental study on decreasing diesel engine emission[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2007, 23(6): 120—124. (in Chinese with English abstract)
- [9] Don Law, Dan Kemp, Jeff Allen, et al. Controlled combustion in an IC-engine with a fully variable valve train[J]. SAE Paper 2001-01-0251.
- [10] 尤国栋, 苏铁熊, 许俊峰, 等. 高功率密度柴油机的排气流通特性[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(12): 74—79.
You Guodong, Su Tiexiong, Xu Junfeng, et al. Exhaust flow characteristics of diesel engine with high power density[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2012, 28(12): 74—79. (in Chinese with English abstract)
- [11] 裴毅强, 苏万华, 林铁坚. 一种基于稀扩散燃烧的 BUMP 燃烧室及其对柴油机碳烟和 NO_x 排放影响的实验研究[J]. *内燃机学报*, 2002, 20(5): 381—386.
Pei Yiqiang, Su Wanhua, Lin Tiejian. The BUMP combustion chamber presented based on the concept of lean diffusion combustion in a DI diesel engine with common rail fuel injector[J]. *Transactions of CSICE*, 2002, 20(5): 381—386. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张晓宇, 苏万华, 裴毅强, 等. Bump 环强化柴油混合过程的数值模拟研究[J]. *内燃机学报*, 2005, 23(1): 1—9.
Zhang Xiaoyu, Su Wanghua, Pei Yiqiang, et al. CFD study of mixing enhancement by a bump ring in a combustion chamber[J]. *Transactions of CSICE*, 2005, 23(1): 1—9. (in Chinese with English abstract)
- [13] Yang Desheng, Gao Xiyan, Zhang Songtao, et al. Realization of low-temperature premixed combustion with diesel TR combustion system[J]. *Transactions of CSICE*, 2005, 23(4): 313—321.
- [14] 杨德胜, 高希彦. 柴油机 TR 燃烧系统的设计与试验研究[J]. *燃烧科学与技术*, 2005, 11(1): 82—86.
Yang Desheng, Gao Xiyan. Design and experiment on diesel TR combustion system[J]. *Journal of Combustion Science and Technology*, 2005, 11(1): 82—86. (in Chinese with English abstract)
- [15] Jaichandar S, Annamalai K. Influences of re-entrant combustion chamber geometry on the performance of pongamia biodiesel in a DI diesel engine[J]. *Energy*, 2012, 44(1): 633—640.
- [16] 魏塔, 李向荣, 张国栋. 柴油机新型双卷流燃烧系统混合与燃烧机理研究[J]. *内燃机学报*, 1998, 16(4): 446—452.
Wei Rong, Li Xiangrong, Zhang Guodong. A study of mixing and burning for a new DSCS in diesel engine[J]. *Transactions of CSICE*, 1998, 16(4): 446—452. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李向荣, 何圣华, 魏塔. 柴油机双卷流燃烧系统的研究[J]. *内燃机学报*, 2003, 21(3): 207—212.
Li Xiangrong, He Shenghua, Wei Rong. Researches on double swirl combustion system for diesel engine[J]. *Transactions of CSICE*, 2003, 21(3): 207—212. (in Chinese with English abstract)
- [18] 孙柏刚, 谢均, 柴国英, 等. 柴油机双卷流燃烧系统的排放特性[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(9): 48—54.
Sun Baigang, Xie Jun, Chai Guoying, et al. Emission characteristics of double swirl combustion system in diesel engine[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2013, 29(9): 48—54. (in Chinese with English abstract)
- [19] 尚勇, 刘福水, 李向荣, 等. 强制卷流燃烧室对改善柴油机油气混合的研究[J]. *内燃机学报*, 2010, 28(6): 488—493.
Shang Yong, Liu Fushui, Li Xiangrong, et al. Research on the effect of forced swirl combustion chamber on air-fuel mixture process in diesel engine[J]. *Transactions of CSICE*, 2010, 28(6): 488—493. (in Chinese with English abstract)
- [20] Shang Y, Liu FS, Li XR. Forced swirl combustion chamber in diesel engine: Numerical simulation and experimental research[J]. *Environmental Engineering and Management Journal*, 2011, 10(7): 925—930.

- [21] Keiichi Nakagome, Naoki Shimazaki, Keiichi Niimura. Combustion and emission characteristics of premixed lean diesel combustion engine[J]. SAE Paper 970898, 1997.
- [22] Ryo Hasegawa, Hiromichi Yanagihara. HCCI combustion in DI diesel engine[J]. SAE Paper 2003-01-0745.
- [23] Shuji Kimura, Osamu Aoki, Yasuhisa Kitahara, et al. Ultraclean combustion technology combining a low-temperature and premixed combustion concept for meeting future emission standards[J]. SAE Paper 2001-01-0200.
- [24] Akihama K, Takatori Y, Inagaki K. Mechanism of the smokeless rich diesel combustion by reducing temperature[J]. SAE paper 2001-01-0655.
- [25] Su Wanhua, Lin Tiejian, Pei Yiqiang. A compound technology for HCCI combustion in a DI diesel engine based on the multi-pulse injection and the BUMP combustion chamber[J]. SAE Paper 2003-01-0741.
- [26] GB 17691-2005, 车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法[S].
- [27] Haruyuki Yokota, Yugo Kudo, Hiroshi Nakajima, et al. A new concept for low emission diesel combustion[J]. SAE Paper 970891, 1997.
- [28] Salvador M Aceves, Daniel L Flowers, Joel Martinez-Frias, et al. A sequential fluid-mechanic chemical-kinetic model of propane HCCI combustion[J]. SAE Paper 2001-01-1027.
- [29] William L Easley, Apoorva Agarwal, George A Lavoie. Modeling of HCCI combustion and emissions using detailed chemistry[J]. SAE Paper 2001-01-1029.
- [30] Kengo Tanaka, Hiroyuki Endo, Akira Imamichi, et al. Study of homogeneous charge compression ignition using a rapid compression machine[J]. SAE Paper 2001-01-1033.

Experiment of emissions characteristics for double swirl combustion system in diesel engine

Su Liwang¹, Li Xiangrong^{1*}, Li Jie², Zhao Luming¹, Zhang Changling³, Liu Fushui¹

(1. School of Machine and Vehicle, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 2. Hebei Huabei Diesel Engine Co., Ltd, Shijiazhuang 050081, China; 3. Beijing Bitec Co., Ltd, Beijing 100081, China)

Abstract: Due to the growing importance of future emission restrictions, diesel engines are continuously forced to improve the combustion processes in order to reduce the raw emissions, especially for the emitted particulate matters (PM) and nitrogen oxidants (NO_x). For the combustion formation and emission characteristics of diesel, fuel-air mixing plays a controlling role and one of the factors that affect the fuel-air mixing is the design of the combustion chamber. Therefore, a series of investigations concerned on the geometric shape of combustion chamber have been carried out and some of them have shown well emission characteristics. Double Swirl Combustion System (DSCS) has been reported to have a well performance on fuel conservation and combustion reaction in past literatures, but its performance on emission has not studied yet. It can be hypothesized that fuel spray can collide with the circular ridge, splits into two parts, and then forms double swirls (inner-swirl and outer-swirl), which makes the core of the single spray to meet air directly. Hence, the fuel will be distributed more evenly and the fuel-air mixing and burning progress can be improved for achieving better usage of the air in the whole chamber, It is hypothesized that the generation of soot (main section of PM) can be reduced effectively duo to this progress. To verify the hypothesis, the emission characteristics of diesel engine adopted DS chamber and the original chamber were tested in present paper. The engine tests were based on a 132-mm single-cylinders diesel engine, the corresponding stroke length is 145 mm, connecting rod length is 262 mm, and the maximum engine speed is 2500 r/min. The PM level in the exhaust gas was measured with a MAHA MPM-4 PM analyzer, the readings of which are provided as PM concentration in mg/m³, whose accuracy within ± 0.01 mg/m³. The NO_x concentration in ppm (parts per million, by vol.) in the exhaust was measured with a HORIBA MEXA-720 NO_x analyzer with the accuracy within $\pm 1 \times 10^5$. The test was conducted at 1300 r/min (full load), 1600 r/min (25% load, 50% load, 75% load, full load), 1900 r/min (full load) and 2100 r/min (rated speed, full load). The 1300 r/min, 1600 r/min, 1900 r/min correspond to the engine speed A, B, C ruled in the European Stationary Cycle (ESC) test. The weight of each engine speed (A, B, C) in the ESC test are 23, 39, 23, so different loads of engine speed B (1600 /min) were tested in our research to study the emission characteristic of the test engine. The emitted PM, NO_x, brake specific fuel consumption and cylinder pressure had been measured. Meanwhile, the rate of heat release and mean cylinder temperature had been analyzed in both original diesel engine and the diesel engine matched with DSCS. The test results (full load) show that the PM emitted by the engine matched with DSCS is significantly lower than the original, with the reduction being higher at high engine speed in the range of 7%~47%. While the emitted NO_x of the engine matched with DSCS is higher than the original. The test results (25% load, 50% load, 75% load, full load at 1600 r/min) indicated that the emitted PM and NO_x differ slightly at lower load, and the reason can be explained as: the penetration of the fuel spray is short due to the reductive fuel supply and the fuel can hardly touch the ridge of the DS chamber, so the fuel were combusted unrestrained in both DS chamber and the original chamber which result a similar combustion process and emission characteristic. Besides, the penetration would become longer with the increase of fuel supply as the load increased and the fuel spray can collide with the ridge adequately via which the emitted PM can be significantly reduced.

Key words: diesel engines, emission control, combustion equipment, experiments, double swirl combustion system

(责任编辑: 张俊芳)