

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S2.027

柴油机缸内燃烧过程对羰基物排放的影响

许广举, 陈庆樟, 孟杰, 杨保成, 焦洪宇, 吕正兵

(常熟理工学院汽车工程学院, 江苏常熟 215500)

摘要:采用生物柴油、柴油及其调合油进行柴油机台架试验,测量了缸内瞬变压力随曲轴转角的变化情况,通过放热规律计算,结合柴油机羰基物排放的测量结果,分析了缸内燃烧过程与羰基类污染物生成之间的内在关系。研究表明,预混燃烧阶段发生燃料氧化反应,形成甲醛、 C_7 、 C_5 、CO、 C_2H_2 等燃烧中间产物;随着负荷的增加,扩散燃烧期延长,成为羰基类燃烧中间产物再次氧化分解的主要阶段;随着负荷的增大,缸内温度、压力提高,滞燃期缩短,在高温、高压区域的滞留时间延长,羰基类污染物被再次氧化、转化几率增加;高负荷时,排气温度较高,有利于羰基类物质发生再次氧化。

关键词:柴油机;燃烧过程;羰基物;排放

中图分类号:TK421 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)S2-0104-03

Carbonyl Emission Influenced by Combustion Process of Diesel Engine

Xu Guangju, Chen Qingzhang, Meng Jie, Yang Baocheng, Jiao Hongyu, Lyu Zhengbing

(Department of Automobile Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, Jiangsu Province, P. R. China)

Abstract: The bench test of diesel engine is conducted fueled with biodiesel, diesel and blending fuel, the changes of cylinder pressure with crank angle is also measured, combined with the measurement results of carbonyl emissions, the theoretical relationship between combustion process and carbonyl formation is analyzed. The results show that, combustion intermediates such as C_7 , C_5 , CO and C_2H_2 are produced in the fuel oxidation process during the premixed combustion phase. The diffusion combustion period extend with the increase of load, and it is the main stage of re-oxidation and decomposition for the intermediate products, the cylinder temperature and pressure increase with the increase of load, while the ignition delay period is shortened, the probability of oxidation and conversion for carbonyl pollutants improve because of the extended residence time in the high-temperature and high pressure region, the high exhaust temperature in high load is conducive to the re-oxidation of carbonyl emissions.

Key words: diesel engine; combustion process; carbonyl; emissions

汽车尾气污染已经成为城市大气污染的一个主要来源。世界各国均制定了严格的排放法规。2009年9月,欧盟开始实施欧V排放标准,为了进一步降低 NO_x 和HC排放污染物,2014年将实施更为严格的欧VI标准。2008年我国开始实施重型发动机国III排放标准,2012年开始实施国V排放标准,大幅度降低HC、 NO_x 、PM排放污染物^[1-2]。

柴油机的总碳氢排放包括未燃碳氢、烷烃、烯烃,以及羰基类、酚类、酯类等含氧有机物,羰基类污染物是碳氢燃料的中间氧化产物,由于燃烧火焰在气缸壁面的淬冷效应、活塞环漏气以及润滑油膜的吸附效应等原因,在活塞的顶岸间隙,燃烧室壁面的淬冷层中均存在大量的羰基类污染物^[3-4]。羰基类污染物在柴油机排气中所占的比重较小,但对人体危害较为突出。这些非常规中间产物与HC、CO、 NO_x 、PM等常规污染物的生成有密切关系。尽管目前各国汽车排放法规中均未对羰基类物质的排放限值进行相关的规定,但仍有

必要对柴油机的羰基类非常规污染物的生成过程开展研究,揭示羰基类污染物的生成机理,以及对常规排放污染物的影响。

本文采用生物柴油、柴油及其调合油进行柴油机台架试验,测量了缸内瞬变压力随曲轴转角的变化情况,通过放热规律计算,分析燃烧压力、温度、放热率、滞燃期等关键热力学参数,结合柴油机羰基物排放的测量结果,分析了缸内燃烧过程与羰基类污染物生成之间的内在关系。

1 试验设备与方案

1.1 试验设备

试验用机为四冲程186FA直喷风冷柴油机,压缩比19,排量0.418 L,标定转速3 600 r/min,标定功率6 kW。测量仪器主要有Dewetron燃烧分析仪、CY-YD-200A压电式传感器,试验现场的设备和仪器见图1所示。示功图数据采集系

收稿日期:2013-09-30

基金项目:江苏省“六大人才高峰”项目(SZ2010002);江苏省自然科学基金(BK2011367)

作者简介:许广举(1984-),男,博士。主要从事柴油机新能源及排放控制研究,(E-mail) xuguangju@cslg.cn。

统主要由气缸压力传感器、曲轴转角信号发生器、电荷放大器、A/D 转化器以及其他附件组成,气缸压力传感器安装在柴油机的气缸盖上,曲轴转角信号发生器安装在柴油机的飞轮端。



图 1 试验设备和仪器

1.2 试验方案

试验用柴油为普通的市售 0# 柴油,生物柴油为常州卡特石油新能源公司生产的以地沟油为原料的生物柴油。BD100、BD50、BD0 表示三种不同比例的调合生物柴油,BD50 表示生物柴油和柴油按照体积比(50%:50%)配制的调合油。

测试工况为标定转速 3 600 r/min,10%、50%、100% 三种不同负荷时,柴油机燃用 BD100、BD50、BD0 时的燃烧压力数据,此外,试验过程中需保证气缸压力传感器的充分冷却。

1.3 放热规律计算

缸内燃烧过程研究主要通过测量缸内瞬变压力随曲轴转角的变化情况,通过放热规律计算,分析燃烧温度、放热率等燃烧过程关键参数^[5]。

根据实测的燃烧室压力数据,通过热力学基本定律,建立相应的能量方程、状态方程和质量方程,确定工质内能变化、工质特性参数、工质对活塞做功量、工质与燃烧室壁面换热量等参数,并将气缸工作过程划分为进气、压缩、燃烧、膨胀、排气五个阶段,同时对气缸工作过程进行理想化处理。

2 碳基物排放测量结果

柴油机排气中碳基类污染物的检测,常用的方法是采用衍生化法结合高效液相色谱技术,采用 2,4-二硝基苯肼(DNPH)衍生法进行了样品采集,运用高效液相色谱仪(HPLC)分析了碳基类污染物的排放规律。

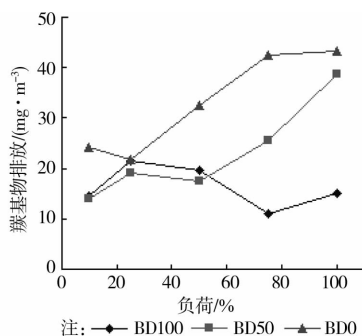


图 2 不同调合比例生物柴油的总碳基排放趋势

图 2 为不同调合比例生物柴油的总碳基排放随柴油机负荷的变化规律。可以看出,中、低负荷时,BD100、BD50、BD0 的总碳基排放相差不大,约为 20 mg/m³,BD50 和 BD0 的总碳基排放呈随着负荷的增大而升高的趋势;高负荷时,不同调合比例生物柴油的总碳基排放差异较大,BD0 的总碳基排放最高,BD50 次之,BD100 的总碳基排放最低,在整个负荷范围内,BD0 的总碳基排放均高于 BD50 和 BD100,最高可达 43 mg/m³。

3 分析与讨论

3.1 滞燃期

滞燃期是燃烧过程的一个重要参数。一般来说,常以针阀开启时对应的曲轴转角为滞燃期始点,压力开始急剧升高时对应的曲轴转角为着火始点,得到以曲轴转角表示的滞燃期。

图 3 为转速 3 600 r/min,柴油机燃用生物柴油的滞燃期随负荷的变化情况。可以看出,滞燃期随着负荷的增加而缩短,当负荷从 10% 增加到 100%,滞燃期缩短了 11°CA。滞燃期的长短决定了着火前缸内可燃混合气的数量,直接影响预混燃烧过程以及碳基类污染物的生成,预混燃烧阶段,燃油开始蒸发,在油束外缘的剪切边界层形成燃油蒸气/空气的外壳,在燃油蒸气/空气进入油束内时,发生燃料氧化过程,形成甲醛、C₇、C₅、CO、C₂H₂ 等燃烧中间产物^[6]。

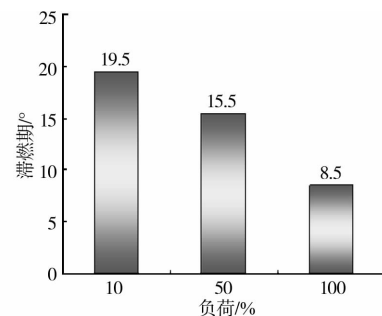


图 3 滞燃期随负荷的变化情况

3.2 放热规律

图 4 为转速 3 600 r/min,不同负荷燃烧放热率随曲轴转角的变化情况。可以看出,随着负荷的增加,燃烧过程中的放热率峰值呈上升趋势,10% 负荷时,柴油机的放热率峰值为 13.5 J/°CA,50% 负荷时,柴油机的放热率峰值为 17.3 J/°CA,100% 负荷时,柴油机的放热率峰值为 20.1 J/°CA;燃烧始点随着负荷的增加而提前,当负荷从 10% 增加到 100%,燃烧始点提前了 11° CA。

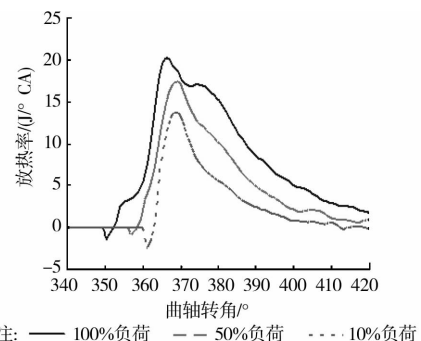


图 4 生物柴油放热率随曲轴转角的变化情况

扩散燃烧期的燃烧过程十分复杂,主要包括均相混合、气液双相混合、油束附近已燃区高温的混合、远离油束未燃区低温混合^[7]。此外,还有燃油、空气、燃烧中间产物(羰基类和 CO)和最终产物(CO₂/H₂O)等多种物质的瞬态混合。负荷增加后,喷入气缸的循环油量增加,扩散燃烧期延长,这就使得扩散燃烧期成为羰基类燃烧中间产物再次氧化分解的主要阶段。

3.3 燃烧温度

图 5 为 3 600 r/min,不同负荷缸内燃烧温度随着曲轴转角的变化情况。可以看出,随着负荷的增加,燃烧温度呈上升趋势,10%负荷时,最高燃烧温度为 1 398 K,50%负荷时,最高燃烧温度为 1 594 K,100%负荷时,最高燃烧温度为 1 907 K,与 10%负荷相比,全负荷时最高燃烧温度上升了 36%。甲醛基是燃烧过程中的重要中间产物,可在后续的氧化反应中消耗掉^[8]。低负荷时,已燃混合气温度较低,氧化作用较弱,燃烧室壁面淬熄层中存在大量的醛类,导致羰基类污染物排放较高;随着负荷的增大,柴油机缸内温度、压力提高,滞燃期缩短,在高温、高压区域的滞留时间延长,羰基类污染物被再次氧化、转化几率增加,导致其排放量降低。

试验柴油机的排气门关闭时刻为下止点前 60°CA。10%负荷时的温度为 478 K,50%负荷时的温度为 668 K,100%负荷的温度为 961 K。甲醛的化学性质较为活泼,低负荷时,排气温度较低,氧化反应的化学反应速率很低,对羰基类再次氧化的影响较小;高负荷时,排气温度较高,排气中的羰基类物质和 HC 燃料易发生再次氧化,降低了羰基类物质的排放。

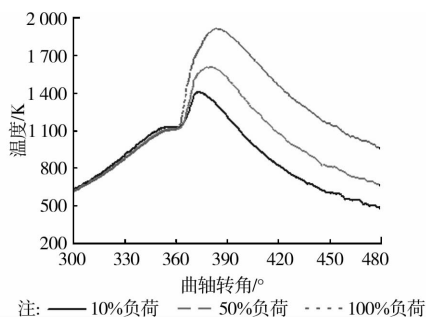


图 5 生物柴油燃烧温度随曲轴转角的变化情况

4.4 调合比例

图 6 为 100%负荷下,柴油机分别燃用 BD100、BD50、BD0 时的缸内温度和压力曲线。可以看出,BD50 和 BD100 的缸内压力峰值较为接近,BD0 的缸内压力峰值最低,BD100 的缸内温度峰值为 1 908 K,BD0 的缸内温度峰值仅为 1 842 K。

与柴油相比,生物柴油具有含氧特性,含氧燃料在燃烧过程中能提供更多的氧,氧的助燃特性可以提高燃烧效率,使燃烧更加充分,有利于包括羰基类在内的总碳氢的氧化。因此,生物柴油的羰基类污染物排放低于柴油。

5 结论

1)滞燃期的长短影响预混燃烧过程以及羰基类污染物的生成,在燃油蒸气/空气进入油束内时,发生燃料氧化过程,

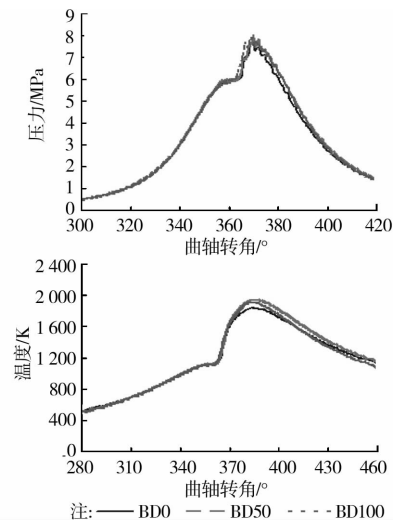


图 6 不同调合比例生物柴油的气缸温度和压力

形成甲醛、C₇、C₅、CO、C₂H₂ 等燃烧中间产物。

2)随着负荷的增加,燃烧始点提前,喷入气缸的循环油量增加,扩散燃烧期延长,成为羰基类燃烧中间产物再次氧化分解的主要阶段。

3)随着负荷的增大,缸内温度、压力提高,滞燃期缩短,在高温、高压区域的滞留时间延长,羰基类污染物被再次氧化、转化几率增加。

4)甲醛的化学性质较为活泼,低负荷时,排气温度较低,氧化反应的化学反应速率很低;高负荷时,排气温度较高,排气中的羰基类物质和 HC 燃料易发生再次氧化。

参考文献:

- [1] 冀树德,张伟,高波,等. 柴油发动机及车辆排放法规的发展动态[J]. 铁道机车车辆,2011, 31(Sup):106-109.
- [2] 于津涛,王建海,田冬莲. 欧美常温排放法规对比及试验分析[J]. 汽车技术,2011(4):43-46.
- [3] 大气固定源的采样和分析编委会. 大气固定源的采样和分析[M]. 北京:中国环境科学出版社,1993: 502-508.
- [4] Wallace L A, Tai H K, Lam S, et al. Personal exposures, indoor-outdoor relationships and breath levels of toxic air pollutants measured for 355 persons in New Jersey [J]. Atmos Environ, 1985, 19 (11): 1652-1661.
- [5] 胡建月,孙平,叶丽华,等. 直喷式柴油机燃用不同燃料的放热规律研究[J]. 拖拉机与农用运输车,2010,37(1):40-44.
- [6] 裴梅香,林赫,上官文峰,等. 等离子体在同时去除 NO_x 和碳烟催化反应中的作用[J]. 物理化学学报,2005,21(3): 255-260.
- [7] Determination of formaldehyde in ambient air using adsorbent cartridge followed by high performance liquid chromatography (HPLC) [S]. Compendium of methods for determination of toxic organic compounds, EPA. TO-11A Janu. 1999.
- [8] 赵瑞芬,周颖超,宋崇林,等. 内燃机排气中醛、酮污染物的测定[J]. 环境化学,2007,26(6): 841-844.