

柴油品质对 1 台典型欧 IV 柴油机性能影响的研究

陈文淼, 王建昕, 帅石金

(清华大学汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要 为提出与我国第 4 阶段排放法规相适应的车用柴油标准, 作为北京市“汽车-油品”项目的研究内容之一, 在 1 台满足欧 IV 排放法规的柴油机上对不同品质参数的 8 种柴油进行对比试验. 结果表明, 柴油品质参数变化对试验用欧 IV 柴油机动性、燃油经济性和缸内燃烧过程影响很小. 微粒中的硫酸盐和气态 SO_2 排放量均随硫含量上升而线性增加; 十六烷值增加, 比油耗和 PM 排放稍有下降, NO_x 排放稍有上升; T90 下降, NO_x 排放下降, PM 有降低趋势. 在试验数据基础上, 拟合得到了试验用欧 IV 柴油机 ESC 循环 SCR 前 NO_x 和 PM 排放量随柴油硫含量、十六烷值、蒸馏特性 T90 和芳香烃含量 4 个参数变化的预测公式.

关键词 柴油机 柴油品质 排放 燃烧

中图分类号: X382.1 文献标识码: A 文章编号: 10250-3301(2008)09-2665-07

Effects of Fuel Properties on the Performance of a Typical Euro IV Diesel Engine

CHEN Wen-miao, WANG Jian-xin, SHUAI Shi-jin

(State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract With the purpose of establishing diesel fuel standard for China National 4th Emission Standard, as one part of Beijing “Auto-Oil” programme, engine performance test has been done on a typical Euro IV diesel engine using eight diesel fuels with different fuel properties. Test results show that, fuel properties has little effect on power, fuel consumption, and in-cylinder combustion process of tested Euro IV diesel engine; sulfate in PM and gaseous SO_2 emissions increase linear with diesel sulfur content increase; cetane number increase cause BSFC and PM reduce and NO_x increase; T90 decrease cause NO_x reduce while PM shows trend of reduce. Prediction equations of tested Euro IV diesel engine's ESC cycle NO_x and PM emissions before SCR response to diesel fuel sulfur content, cetane number, T90 and aromatics have been obtained using linear regression method on the base of test results.

Key words diesel engine; fuel properties; emissions; combustion

随着排放法规的日益严格, 燃油品质对发动机性能的影响受到全世界的广泛关注. 北京为 2008 年提前全国实施中国第 4 阶段排放法规, 必须提前制定与国 4 排放标准相对应的汽油、柴油油品标准. 北京市环保局组织石化企业、汽车发动机制造商和中立研究机构共同开展了“满足欧 IV 排放标准的清洁燃油组成与排放关系的研究”(简称北京“汽车-油品”项目), 分析燃油品质参数对满足欧 IV 排放法规的发动机及其后处理技术的影响. 本研究介绍了该项目中柴油品质参数对重型柴油机性能影响部分, 通过发动机台架试验探讨了柴油硫含量、十六烷值、蒸馏特性温度 T90 和芳香烃对 1 台典型的欧 IV 柴油机原机性能的影响.

世界各国从 20 世纪 90 年代开始, 针对燃油、发动机与排放关系开展了大量的研究工作, 美国、欧洲、日本均由政府出面不断组织汽车和石油工业共同进行逐渐深入的“汽车-油品”(Auto-Oil)项目以讨论燃油品质对排放的影响. 欧洲 1993 年开展了 EPEFE (European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies) 项目, 项目的柴油部分使用 11

种柴油在 19 台轻型柴油车和 5 台重型柴油机上进行了试验, 分析柴油十六烷值、T95、多环芳香烃和密度的影响^[1,2]. 美国 1999 年启动 DECSE (Diesel Emission Control-Sulfur Effects) 项目研究硫含量对柴油机新型排放控制系统的影响^[3,4]; 日本也于 1997 年开展了清洁空气计划 JCAP (Japan Clean Air Program)^[5,6]. 此外多家中立研究组织、汽车发动机制造商和石油公司也各自进行了相关研究^[7,8], 研究涉及到的柴油油品参数主要包括 硫含量、十六烷值、蒸馏特性、芳香烃含量等. 根据部分研究结果, 汽车、发动机制造商提出《世界燃油规范》, 并将世界范围内的燃油分为品质逐渐加严的 4 类, 用于满足 Euro1 ~ Euro5 不断加严的排放法规要求^[9]. 我国在油品与排放相关性方面曾做过的研究工作很少, 这对我国正确地制定油品标准十分不利.

近年来, 国际上油品排放相关性研究的重点逐渐转移到柴油品质对柴油机后处理技术的影响^[10,11]

收稿日期: 2007-09-05 修订日期: 2007-11-15
基金项目: 北京市重大科研项目 (D0405002040411)
作者简介: 陈文淼 (1983 ~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为柴油机排放控制, E-mail: chenwenmiao00@mails.thu.edu.cn

和代用燃料对发动机性能的影响^[12],柴油品质对欧Ⅲ以上重型柴油机原机性能影响的文献很少且存在油品参数未实现解耦的问题^[13],欧Ⅳ柴油机原机的研究结果极少,2006年第4版《世界燃油规范》引用数据主体仍为欧Ⅱ水平发动机上的研究结果.欧Ⅳ和欧Ⅱ柴油机在技术路线上存在显著差异,特别是高压多段喷射技术的应用使得欧Ⅳ柴油机对油品参数变化的响应同传统欧Ⅱ柴油机并不完全相同.

1 试验设备与测试方案

1.1 试验用发动机与测试仪器

试验所用柴油机为 Cummins ISBe4 140 直列四缸增压中冷、高压共轨直喷式柴油机,使用尿素 SCR 后处理技术,该柴油机满足欧Ⅳ排放法规,主要性能参数如表 1 所示.试验用柴油机采用典型的欧Ⅳ排放控制技术,是具有代表性的欧Ⅳ重型柴油机.

表 1 试验用欧Ⅳ柴油机性能参数

Table 1 Engine specification of Euro IV diesel engine	
项目	参数
型号	ISBe4 140
型式	四冲程,直列,增压中冷,直喷,水冷
气缸数	4
总排量/L	4.5
压缩比	17.3
最大功率/转速(kW/r·min ⁻¹)	103/2 500
最大扭矩/转速(N·m/r·min ⁻¹)	550/1 500
燃油供给系统	高压共轨
后处理系统	尿素 SCR

试验台架示意图如图 1.使用 AVL CEB-Ⅱ 排气分析仪测量 SCR 前后常规气态排放物 NO_x、HC、CO 和 CO₂.使用脉冲荧光 SO₂ 分析仪测量排气中的 SO₂ 含量.使用 AVL SPC-472 部分流稀释微粒采样装置将排气中的微粒成分采集到滤纸上,滤纸型号为 PALL 公司的 TX40HI20-WW,滤纸采样前后均经过恒温恒湿处理(22℃±3℃,45%±8%),使用感量为 10 μg 的电子天平称重.分别以二氯甲烷(CH₂Cl₂)和去离子水作为萃取剂使用萃取法将采集得到的微粒样品分解为可溶性有机成分(SOF)、硫酸盐和干炭烟(DS)₃部分^[14].使用 Kistler 缸压传感器和角标器采集缸内压力,并利用 AVL Boost 模拟软件计算得到燃烧放热率曲线.

1.2 试验用柴油

试验用油品为 8 种不同品质参数的柴油,主要油品参数见表 2,其中部分柴油实现了十六烷值、

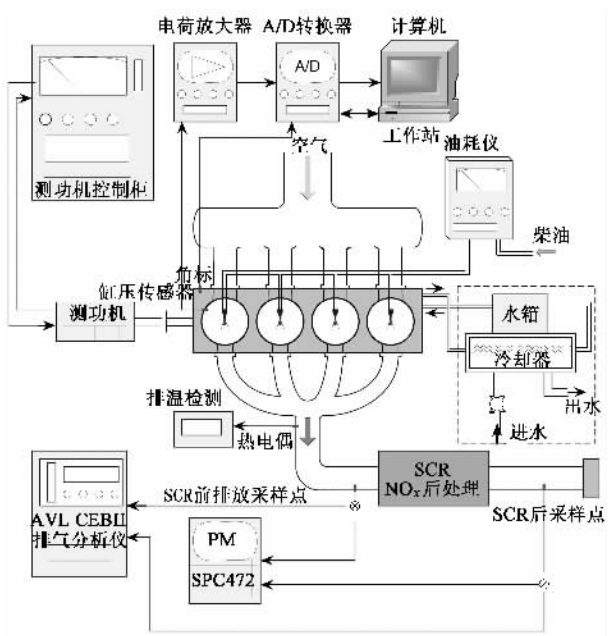


图 1 试验用发动机台架示意

Fig.1 Schematic diagram of experimental equipments

T90 同其它参数的解耦.1 号、6 号柴油除十六烷值和硫含量外其它参数基本相同;3 号、4 号柴油除 T90 和硫含量外其它参数基本相同.柴油硫含量主要影响 PM 中的硫酸盐排放量和气态 SO₂ 排放量,对常规气态排放物无直接影响.据此可以直接分析柴油硫含量、十六烷值和 T90 对试验用欧Ⅳ柴油机排放性能的影响.

1.3 试验方案

在发动机不进行任何调整的条件下,使用具有不同油品参数的柴油进行外特性、1 500 r·min⁻¹ 负荷特性和 ESC 循环对比试验.为避免 SCR 催化器性能变化对排放结果的影响,本研究讨论油品参数对欧Ⅳ柴油机原机性能影响,排放数据均为 SCR 前测试结果.

发动机试验时的一般条件,按国家标准 GB/T 18297-2001(汽车发动机性能试验方法)和康明斯公司相关试验规定进行控制:冷却液的出口温度控制在 88℃±5℃;机油温度控制在 90℃±5℃;柴油温度控制在 40℃±2℃;额定功率点(2 500 r·min⁻¹)中冷后温度控制在 49℃±2℃;额定功率点中冷器压降 12.3 kPa、排气背压 14.7 kPa.

2 柴油品质对发动机性能影响测试

2.1 动力性与燃油经济性

试验用欧Ⅳ柴油机使用不同品质参数柴油的外特性扭矩曲线如图 2 所示;不同柴油的外特性比油

耗曲线和最大扭矩转速 $1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的负荷特性比
油耗曲线分别如图 3 和图 4 所示.虽然柴油品质参
数十六烷值、芳香烃含量、T90 等存在差异,但电控

高压喷射的试验用欧Ⅳ柴油机动性变化在 1% 以
内,燃油经济性变化在 3% 以内.油品参数对高压喷
射的电喷柴油机的动力性和经济性影响很小.

表 2 欧Ⅳ柴油机试验用柴油编号及其油品参数

Table 2 Test number and specification of tested diesel fuels

项目	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号	8 号
T90/℃	355	318.1	317.5	299.4	330	355	333.8	329
终馏点/℃	365	343.3	343.8	340	342	365	346.5	343
硫含量/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	190	42	111	214	510	520	45	30
十六烷值	51.9	64.3	64.8	65.1	47.9	55.9	50.1	51.2
总芳烃(体积分数)/%	10	5.8	6.1	5.4	11	11	—	8.5
密度(20℃)/ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	835.0	809.8	809.8	810.0	842.5	832.2	838.4	833.8

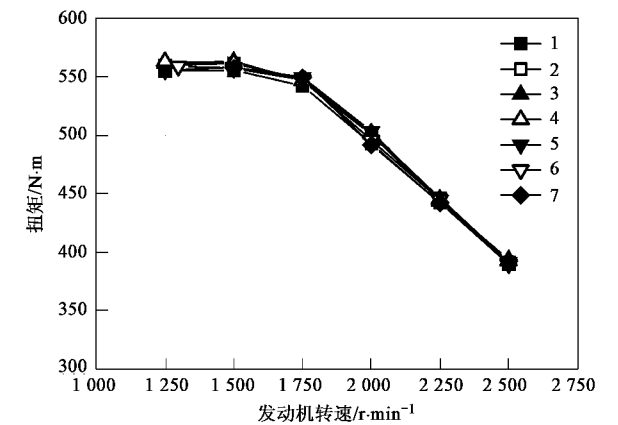


图 2 欧Ⅳ柴油机不同品质参数柴油动力性对比

Fig.2 Power of different diesel fuels on Euro IV engine

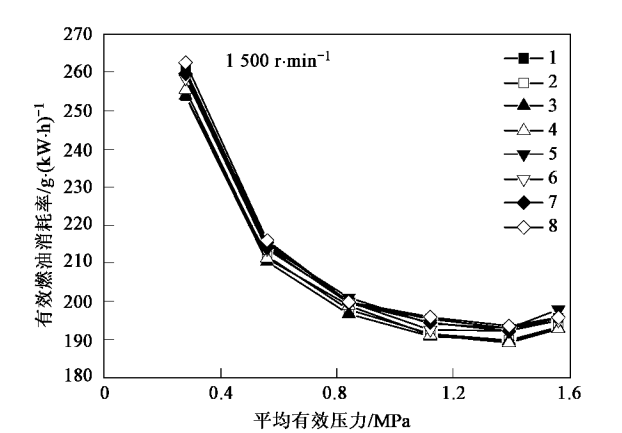


图 4 欧Ⅳ柴油机不同品质参数柴油 $1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 负荷特性油耗对比

Fig.4 Fuel consumption of different diesel fuels on Euro IV engine ($1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ part load performance)

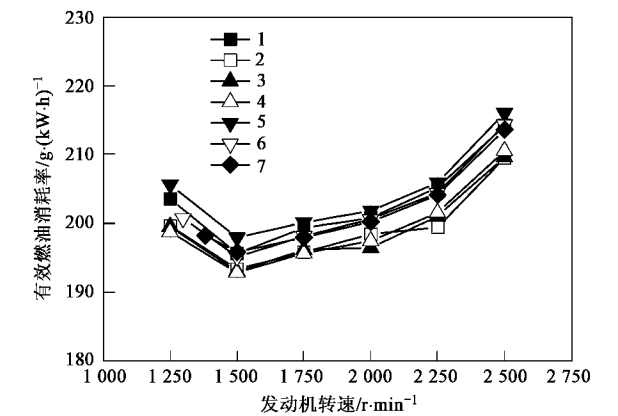


图 3 欧Ⅳ柴油机不同品质参数柴油外特性油耗对比

Fig.3 Fuel consumption of different diesel fuels on Euro IV engine (full load)

2.2 硫含量

硫含量主要影响关系到机尾气中的 SO_2 排放和
微粒中的硫酸盐排放,对柴油机动性、经济性和非
硫排放物没有影响.由于柴油其它品质参数对发动

机硫排放不存在影响,故可给出试验用欧Ⅳ柴油机
使用不同柴油的 ESC 循环 PM 排放 3 组分分离结果
(图 5).由图 5 可见,随着柴油硫含量增加,试验用
欧Ⅳ柴油机的 PM 排放增加,其中 SOF 和 DS 成分变
化不大、硫酸盐排放线性增加.

试验用柴油机 ESC 循环和 $1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 大中小
负荷的 SCR 前硫酸盐排放随柴油硫含量变化如图 6
所示.图 6 中数据散点为试验测得的 ESC 循环和
 $1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 大中小负荷点实测硫酸盐排放数据,
直线为线性拟合得到的各工况硫酸盐排放随柴油硫
含量变化曲线.由图 6 可见,微粒中的硫酸盐排放
随柴油硫含量增加而近似线性增加.由 ESC 循环数
据可见,对于硫含量 $500\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 柴油 ESC 循环硫酸
盐排放量约为 $0.008\text{ g}\cdot(\text{kW}\cdot\text{h})^{-1}$,仅此一项就占欧
Ⅳ法规 PM 限值的 40%.

文献调研认为柴油机微粒中硫酸盐排放的等效

存在形态为 $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 5.3\text{H}_2\text{O}^{[15]}$, 则硫至硫酸盐转化率可根据如下的公式(1)进行计算.

转化率 = 硫酸盐排放 / (比油耗 $\times$ 硫含量 $\times 6$) (1)

根据测量得到的柴油机微粒中硫酸盐排放量、比油耗和柴油硫含量通过计算得到 $1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 大中小负荷的硫至硫酸盐转化率约为 $1\% \sim 2\%$, 且相同工况下转化率基本恒定.

除硫酸盐排放, 试验还使用 SO_2 检测装置测量了 2、3 和 4 号 3 种不同硫含量柴油 $1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 大中小负荷的 SO_2 比排放, 并对结果进行了线性拟合, 如图 7 所示. 由图 7 可见, 随着柴油硫含量的增加, SO_2 排放量增加, 在相同工况下两者呈线性关系, 但拟合曲线未通过原点, 可能与测量精确度有关. SO_2 排放量的增加会导致大气环境下二次硫酸盐微粒生成量增加.

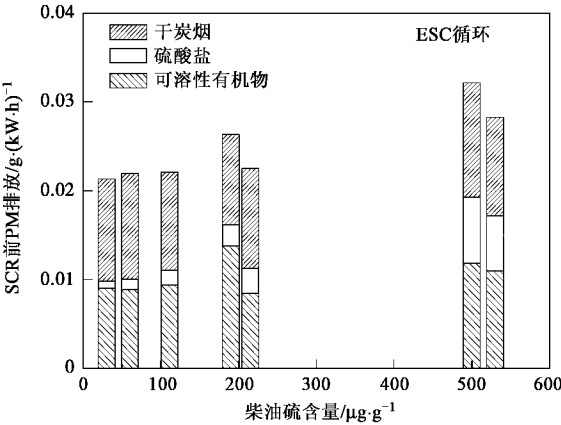


图 5 硫含量对 ESC 循环 PM 及其 3 组分排放影响
Fig.5 Sulfur effect on PM emission (ESC cycle)

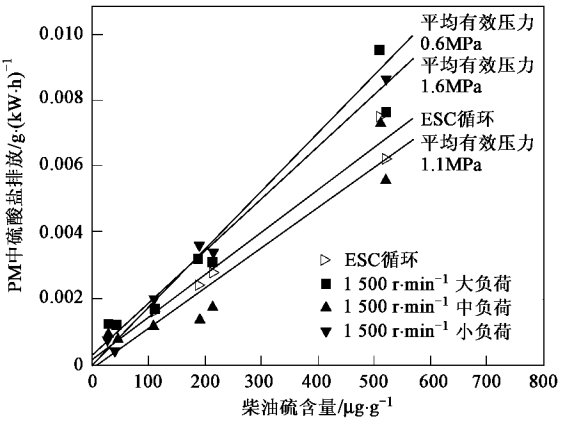


图 6 SCR 前硫酸盐排放量随柴油硫含量变化曲线
Fig.6 Sulfur effect on sulfate emission in PM (before SCR)

2.3 十六烷值

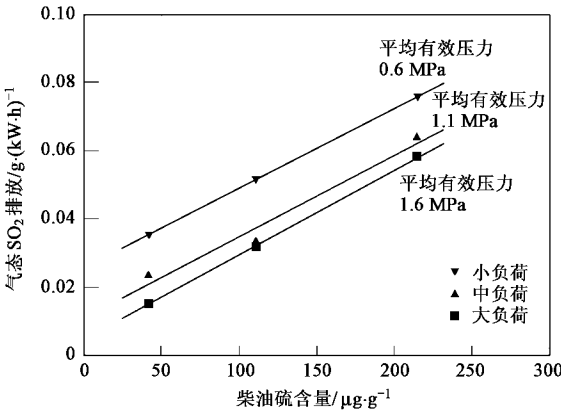


图 7 SCR 前 SO_2 排放随柴油硫含量变化曲线 ($1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$)
Fig.7 Sulfur effect on SO_2 ($1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$, before SCR)

不同十六烷值的 8 种柴油 $1\,500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 大、中、小负荷下比油耗数据如图 8 所示, 数据点为试验实测数据、直线为线性拟合结果, 其中十六烷值 52 和 56 的 1 号、6 号 2 种柴油实现了十六烷值同其它油品参数的解耦. 由图 8 可见, 十六烷值为 52 的 1 号柴油比油耗在趋势上稍高于十六烷值为 56 的 6 号柴油. 同时, 虽然其它燃油品质参数存在差异, 十六烷值在 $48 \sim 65$ 范围内提高导致 BSFC 下降, 但改善在 3% 之内. 也就是说, 十六烷值平均每增加 1 个单位造成试验用欧 IV 柴油机 BSFC 降低约 0.2% .

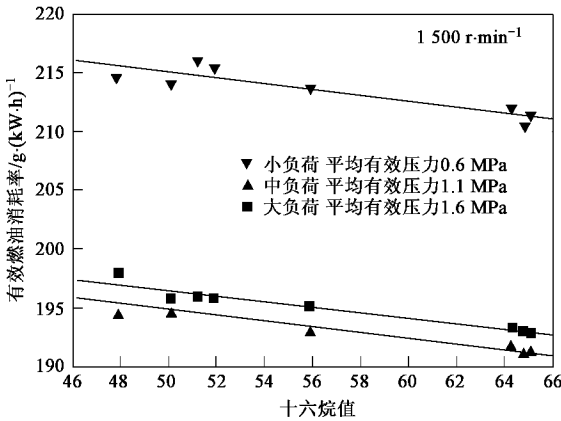


图 8 十六烷值对燃油经济性影响
Fig.8 Cetane number effect on fuel consumption

十六烷值分别为 52 和 56 的 1 号、6 号柴油 ESC 循环 SCR 前 NO_x 和 PM 的 3 组分排放如图 9 所示. 由图 9 可见, 十六烷值由 52 增加至 56, 试验用欧 IV 柴油机 NO_x 略增 (2%), 同等硫含量时 PM 降低约 5% , 源于 SOF 成分降低约 20% . 十六烷值平均每增加 1 个单位造成试验用欧 IV 柴油机 NO_x 排放增加

约 0.5%、PM 排放降低约 1%。

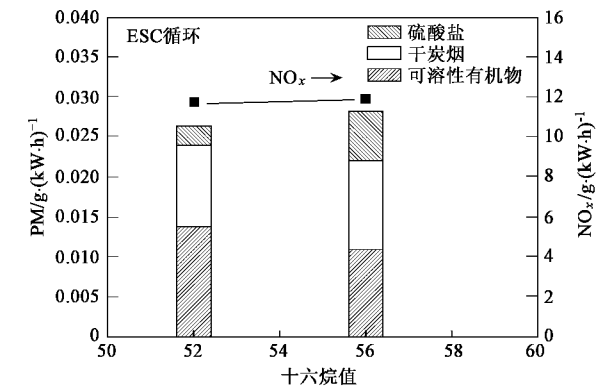


图9 十六烷值对 ESC 循环 NO_x 和 PM 排放影响
Fig.9 Cetane number effect on NO_x and PM emission (ESC cycle)

十六烷值分别为 52 和 56 的 1 号、6 号柴油 1 500 r·min⁻¹ 中等负荷条件下的缸压和放热率曲线见图 10。由图 10 可见,十六烷值由 52 上升至 56 时,预喷引起的第 1 次放热始点略有提前,但总体来看主燃烧阶段的着火始点、着火持续期和放热率形状影响不大,这也解释了上述十六烷值对动力性、经济性和 NO_x 排放影响很小的实验结果。试验还表明,随十六烷值升高,THC 排放下降,这是由于柴油自燃着火性能提高,与上述的 SOF 排放降低的原因相同。

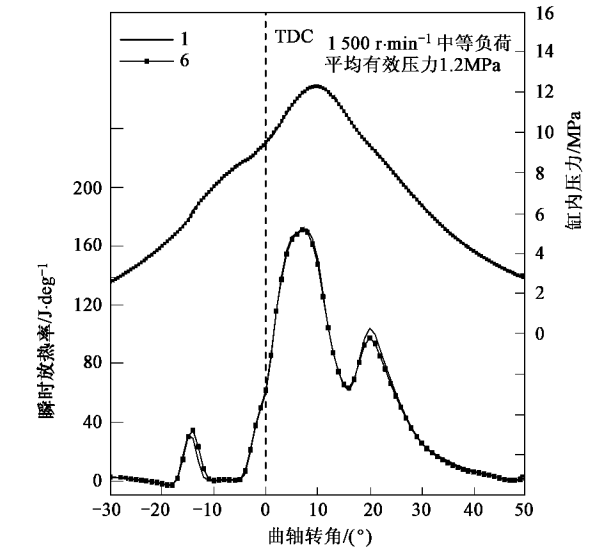


图10 十六烷值对欧Ⅳ柴油机缸压、放热率曲线影响
Fig.10 Cetane number effect on cylinder pressure and rate of heat release

《世界燃油规范》认为增加十六烷值会显著降低 NO_x 排放^[9],并引用源自欧Ⅱ柴油机试验得到的数据指出十六烷值由 50 上升至 58 造成 NO_x 排放下降

约 10%。《世界燃油规范》给出的十六烷值对柴油机 NO_x 排放影响规律同本次试验结果并不相同,这是由欧Ⅳ和欧Ⅱ柴油机技术上的差异造成。对于欧Ⅱ柴油机,十六烷值高,滞燃期缩短,最高爆发压力和压力升高率降低,造成 NO_x 排放量下降;而试验用欧Ⅳ柴油机由于使用了预喷技术,使得十六烷值对缸内燃烧放热规律的影响大大减小,NO_x 排放对十六烷值变化不敏感。

2.4 蒸馏特性 T90

蒸馏特性 T90 分别为 318℃ 和 300℃ 的 3 号、4 号 2 种柴油 1 500 r·min⁻¹ 负荷特性燃油消耗率曲线如图 11 所示。T90 在 300~318℃ 之内变化对燃油消耗率影响在 1% 以内,且无明显规律,因而可以认为 T90 对试验用欧Ⅳ柴油机的燃油消耗率无显著影响。

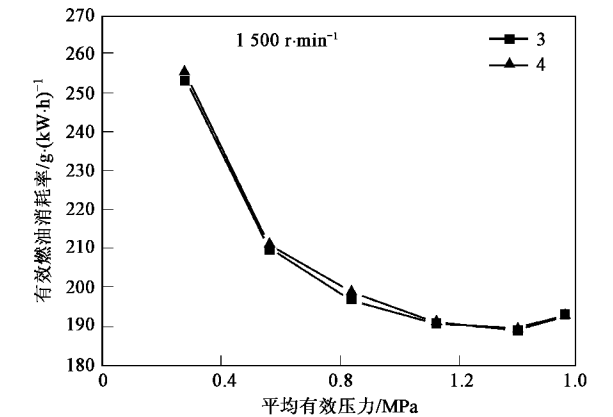


图11 T90 对欧Ⅳ柴油机1 500 r·min⁻¹ 负荷特性比油耗影响
Fig.11 T90 effect on fuel consumption (1 500 r·min⁻¹)

T90 对 NO_x 和 PM 排放的影响如图 12 所示。T90 由 318℃ 下降至 300℃ 造成 NO_x 排放降低 5%,PM 有降低趋势但总量基本恒定,其中 DS 成分保持恒定、SOF 成分稍有降低。柴油蒸馏特性温度 T90 平均每下降 10℃ 造成试验用欧Ⅳ柴油机 NO_x 排放降低 3%、PM 有降低趋势但总量基本恒定。

不同 T90 柴油的 1 500 r·min⁻¹ 中等负荷缸压和放热率曲线对比见图 13。从中可见,T90 由 318℃ 下降至 300℃ 对放热率形状、燃烧始点和着火持续期总体影响不大。

2.5 试验用欧Ⅳ柴油机排放随油品参数变化预测公式

用多参数线性拟合的方式对欧Ⅳ柴油机试验用油和试验结果进行处理,探讨试验用欧Ⅳ柴油机 ESC 循环 SCR 前 NO_x 和 PM 排放量随柴油十六烷

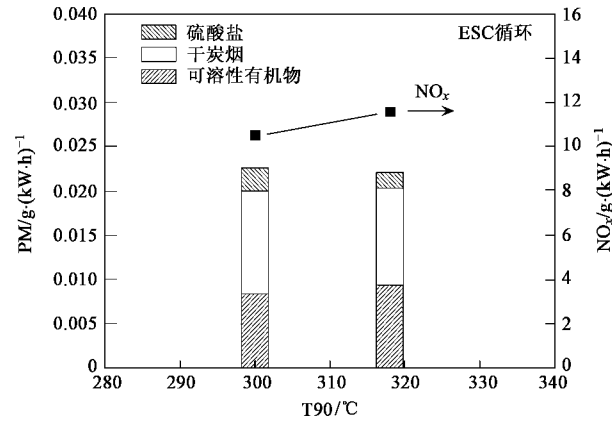


图 12 T90 对 ESC 循环 NO_x 和 PM 排放影响
Fig.12 T90 effect on NO_x and PM emission (ESC cycle)

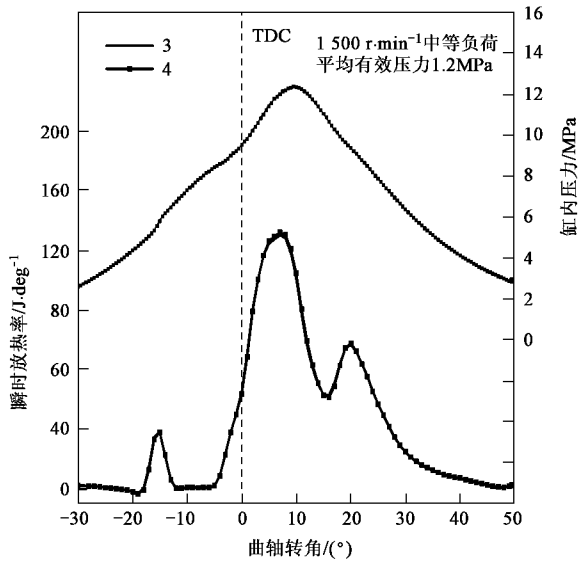


图 13 T90 对欧Ⅳ柴油机缸压、放热率曲线影响
Fig.13 T90 effect on cylinder pressure and rate of heat release

值、硫含量、T90 和芳香烃含量改变的变化趋势. 处理得到的拟合预测公式和公式拟合值与试验测量值的相关系数 R^2 如公式 (2)、(3) 所示. 公式预测结果同实际结果接近, 相关系数 R^2 值也在 0.85 以上.

$$\begin{aligned} \text{NO}_x &= -1.16 + 0.0137 \times \text{Aro} + 0.029 \times \text{T90} \\ &\quad + 0.0481 \times \text{CN} \\ R^2 &= 0.863 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{PM} &= 0.027 + 0.00002 \times \text{Aro} + 0.000022 \times \text{T90} \\ &\quad - 0.000215 \times \text{CN} + 0.000013 \times S \\ R^2 &= 0.95 \end{aligned} \quad (3)$$

式中, NO_x 和 PM 排放单位为 $\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$; CN: 十六烷值; S: 柴油硫含量 ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$); Aro: 芳香烃含量 (%); T90 90% 蒸馏温度 ($^{\circ}\text{C}$).

由试验用欧Ⅳ柴油机排放随油品参数变化预测公式可见: NO_x 排放随柴油十六烷值、T90 和芳香烃含量的增加而上升, 同油品参数解耦试验得到的十六烷值、T90 对 NO_x 影响规律一致; PM 排放随硫含量、T90 和芳香烃含量增加而上升、随十六烷值增加而下降, 同油品参数解耦试验得到的硫含量、十六烷值和 T90 对 PM 影响规律一致. 理论上, 芳香烃是炭烟生成前驱体且燃烧火焰温度较高, 其含量增加会导致 NO_x 和 PM 排放出现上升趋势, 预测公式也体现了这一规律.

3 结论

(1) 柴油品质参数变化对试验用 Cummins ISBe4 欧Ⅳ柴油机动力性和燃油经济性的影响分别在 1% 和 3% 之内, 影响很小.

(2) 硫含量对柴油机的 PM 排放具有重要影响, 微粒中的硫酸盐和气态 SO_2 排放量均随硫含量上升而线性增加, 柴油硫至硫酸盐转化率为 1% ~ 2%, 硫含量 $500 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 柴油 ESC 循环硫酸盐排放量即占欧Ⅳ法规 PM 限值的 40%, 因而必须大幅度降低柴油硫含量.

(3) 十六烷值增加, 试验用 Cummins ISBe4 欧Ⅳ柴油机比油耗和 PM 排放稍有下降、 NO_x 排放稍有上升. 十六烷值每增加 1 个单位平均造成试验用欧Ⅳ柴油机 BSFC 降低约 0.2%、PM 排放降低约 1%、 NO_x 排放增加约 0.5%, 十六烷值对燃烧持续期和放热律形状无显著影响.

(4) 蒸馏特性温度 T90 下降, 试验用 Cummins ISBe4 欧Ⅳ柴油机油耗变化不大, NO_x 排放下降、PM 有降低趋势, T90 每下降 10°C 造成 NO_x 排放降低约 3%, T90 对放热率形状、燃烧始点和着火持续期影响不大.

(5) 通过多参数线性拟合得到的试验用 Cummins ISBe4 欧Ⅳ柴油机排放随油品参数变化预测公式中 NO_x 和 PM 随硫含量、十六烷值、T90 和芳香烃含量变化规律同理论和油品参数解耦试验结果一致.

参考文献:

[1] MacKiven R, Hublin M. European Program on Emissions, Fuels and Engine Technologies—Objectives and Design [J]. SAE Paper, No961065, 1996.
[2] Signer M, Heinze P, Mercogliano R, et al. European programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies (EPEFE) - Heavy Duty

Diesel Study [J]. SAE Paper, No961074, 1996.

[3] Clark W, Sverdrup G M, Goguen S J. Overview of Diesel Emission Control - Sulfur Effects Program [J]. SAE Paper, No2000-01-1879, 2000.

[4] U.S. Department of Energy. Diesel Emission Control-Sulfur Effects (DECSE) Program Final Report : Diesel Oxidation Catalysts and Lean-NO_x Catalysts [R]. 2001.

[5] Oyama K, Kakegawa T. Japan Clean Air Program - Step I Study of Diesel Vehicle and Fuel Influence on Emissions [J]. SAE Paper, No2000-01-1973, 2000.

[6] Shibata Y, Omata T, Hayashi A, *et al.* Results of JCAP I studies and outline of JCAP II program [J]. SAE Paper, No2003-01-1902, 2003.

[7] Stradling R, Gadd P, Signer M, *et al.* The Influence of Fuel Properties and Injection Timing on the Exhaust Emissions and Fuel Consumption of An Iveco Heavy-Duty Diesel Engine [J]. SAE Paper, No971635, 1997.

[8] Spreen K B, Ullman T L, Mason R L. Effects of Cetane Number, Aromatics, and Oxygenates on Emissions From a 1994 Heavy-Duty Diesel Engine With Exhaust Catalyst [J]. SAE Paper, No950250, 1995.

[9] ACEA, Alliance, EMA, JAMA. Worldwide Fuel Charter [S]. (4th edition). 2006. 34.

[10] Kono N, Kobayashi Y, Takeda H. Fuel Effects on Emissions from Diesel Vehicles Equipped with Advanced After treatment Devices [J]. SAE Paper, No2005-01-3700, 2005.

[11] Hara S, Kaneko T, Kakegawa T, *et al.* Effects of Fuel Properties on the Performance of Advanced Diesel NO_x After treatment Devices [J]. SAE Paper, No2006-01-3443, 2006.

[12] Frank B P, Tang S, Lanni T, *et al.* A Study of the Effects of Fuel Type and Emission Control Systems on Regulated Gaseous Emissions From Heavy-Duty Diesel Engines [J]. SAE Paper, No2004-01-1085, 2004.

[13] Thompson N, Stradling R, Zemroch P J, *et al.* Fuel Effects on Regulated Emissions From Advanced Diesel Engines and Vehicles [J]. SAE Paper, No2004-01-1880, 2004.

[14] 陈文森, 陈虎, 王建昕, 等. 柴油机 PM 排放测试分析方法探讨 [J]. 车用发动机, 2005, 2 : 54-58.

[15] Wall J C, Shimpi S A, Yu M L. Fuel Sulfur Reduction for Control of Diesel Particulate Emissions [J]. SAE Paper, No872139, 1987.