

# 柴油出租车燃用不同替代燃料的试验研究

胡志远, 岳 晗, 谭丕强, 楼狄明

(同济大学 汽车学院, 上海 201804)

**摘要:** 对柴油出租车燃用柴油(BD0), 柴油—废弃油脂制生物柴油混合燃料(BD10)和天然气制合成油(G100)的经济性、排放性及可靠性能进行了试验研究. 结果表明: 与燃用BD0比较, 柴油出租车燃用BD10和G100的百公里油耗略高; 燃用BD10的CO和颗粒物(PM)排放分别降低17%和9%, NO<sub>x</sub>和HC+NO<sub>x</sub>排放分别升高12%及8%; 燃用G100的CO, NO<sub>x</sub>, HC+NO<sub>x</sub>, PM排放分别降低75%, 9%, 10%和51%; 柴油出租车燃用BD10, G100后, 其喷油器头部积炭略有增加, 但不影响柴油出租车的正常使用.

**关键词:** 柴油出租车; 替代燃料; 百公里油耗; 排放

**中图分类号:** U469.13, U473.19

**文献标识码:** A

## Experimental Research of Diesel Taxis Fueled by Diesel and Its Alternative Fuels

HU Zhiyuan, YUE Han, TAN Piqiang, LOU Diming

(College of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China)

**Abstract:** Experimental research was carried out on fuel economy, pollution emission, and reliability performances of diesel (BD0), wasted oil-based biodiesel blend (BD10), which is the mixture of diesel and waste oil-based biodiesel by 10% volume ratio of biodiesel, and gas-to-liquids (G100) fueled diesel taxis. The experimental results show that the fuel consumption per 100 kilometers of BD10 and G100 fueled diesel taxis is a little higher than that of taxis fueled with BD0, the CO and particle matter (PM) emission of BD10 fueled taxis reduces about 17% and 9%, whereas the NO<sub>x</sub> and HC+NO<sub>x</sub> emission of BD10 fueled taxis increases about 12% and 8% respectively. Moreover, the CO, NO<sub>x</sub>, HC+NO<sub>x</sub>, and PM emission of G100 fueled taxis reduces about 75%, 9%, 10% and 51% respectively. And, the deposit carbon on fuel injector head of BD10 and G100 fueled taxis increases a little, which doesn't bring any effect on taxi operation.

**Key words:** diesel taxi; alternative fuels; fuel consumption per 100 kilometers; emission

随着我国经济的迅猛发展, 汽车保有量快速增长. 2010年, 我国汽车保有量达到7 800万辆, 消耗了1.5亿t成品油, 折合原油约2.5亿t, 占原油总消耗量的57%. 同时, 汽车产生的CO, HC, NO<sub>x</sub>和颗粒物(PM)等有害污染物和温室气体CO<sub>2</sub>排放总量逐年上升, 机动车尾气污染已经成为影响中国大气质量的重要源, 尤其是在北京、上海、天津等大城市和经济发达的珠江三角洲等地区<sup>[1-3]</sup>.

我国拥有出租车约100万辆, 与其他类型机动车比较, 出租车普遍存在行驶里程长且在交通拥堵地区行驶工况比例较大等特点, 已成为北京、上海等城市机动车污染物排放的重要来源<sup>[4]</sup>. 随着高压喷射系统、多气门系统、增压中冷、废气再循环、颗粒捕集器、NO<sub>x</sub>还原催化转化器等机内净化和机外净化新技术措施相继得以采用, 柴油机的尾气排放大幅度降低. 柴油轿车得到欧盟、韩国、印度等许多国家的高度重视<sup>[5]</sup>, 且在中国具备规模发展的潜力<sup>[6]</sup>. 而且, 与同等排量的汽油轿车相比, 先进柴油轿车能够节省燃油20%~30%<sup>[7]</sup>, 推广使用先进柴油出租车有利于降低城市出租车的能源消耗及HC, CO, CO<sub>2</sub>等污染物排放.

先进柴油轿车燃料除传统的石化柴油外, 还可以燃用生物柴油<sup>[8]</sup>、天然气制合成油<sup>[9]</sup>等柴油替代燃料. 本文对柴油出租车燃用柴油(简称为BD0)、混合体积比例为10%(90%为石化柴油, 10%为废弃油脂制生物柴油, 简称为BD10)的柴油—生物柴油混和燃料, 及天然气制合成油(简称为G100)进行10万km的运行试验, 验证生物柴油、天然气制合成油在柴油出租车上运行的可靠性、便利性、排放优势和燃油经济性.

## 1 试验出租车及方案

### 1.1 试验出租车

采用上海市正常运营的帕萨特 TDI 1.9L 柴油出租车作为试验出租车,共 350 辆,323 辆燃用 BD0,19 辆燃用 BD10,8 辆燃用 G100,同时选择 10 辆桑塔纳汽油出租车作为对比车辆。柴油出租车的发动机为水冷直列式 4 缸 4 冲程,电控泵喷嘴高压直喷涡轮增压柴油机,并配备废气再循环系统和尾气催化转换器,主要技术参数见表 1。

### 1.2 试验燃料

试验运行用燃油为 BD0, BD10 和 G100 等 3 种燃料,试验燃油主要理化指标如表 2 所示。

表 2 3 种试验用燃油主要理化指标

Tab.2 Physical and chemical parameters of test fuel

燃油	密度(20℃)/ (kg·m <sup>-3</sup> )	运动黏度(20℃)/ (mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	闪点/ ℃	冷滤点/ ℃	硫质量 分数/%	90%回收 温度/℃	10%蒸余物残炭 (质量分数)/%	十六烷值	低热值/ (MJ·kg <sup>-1</sup> )
BD0	839.7	4.552	64	-1	0.116 0	342.5	<0.1	51.2	42.6
BD10	848.3	4.697	66	-2	0.106 0	343.1	<0.1	52.4	41.4
G100	774.0	4.220	84	-18	0.000 2	304.8	<0.1	74.3	43.7

### 1.3 试验方案

试验运行期间,分别记录这 350 辆柴油出租车每天的行驶里程及燃油消耗量,累加得到每辆出租车每月的行驶里程及燃油消耗量,计算得到这 350 辆车的月平均百公里油耗。在试验运行出租车中,分别选择 2 辆 BD0 出租车、2 辆 BD10 出租车、2 辆 G100 出租车作为排放跟踪测试车辆,在试验运行开始、出租车行驶到 2 万 km、4 万 km、6 万 km、8 万 km 和 10 万 km 时,依据《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)》(GB 18352.3—2005),分别对其进行排放测试。同时选择这 6 辆排放跟踪测试出租车作为缸内积炭检查车辆,在试验运行开始前及结束后,采用奥林巴斯工业内窥镜对发动机缸内积炭进行检测,检查柴油、生物柴油、天然气制合成油对发动机缸内积炭的影响。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 燃油经济性

323 辆出租车燃用 BD0,19 辆出租车燃用 BD10,8 辆出租车燃用 G100,10 辆桑塔纳汽油出租车试验运行期间的月平均百公里油耗分别取平均值后随试验运行时间的变化情况如图 1 所示。

表 1 帕萨特柴油出租车主要技术参数

Tab.1 Technical parameter of PASSAT diesel taxi

项目	参数
额定功率/kW	85
额定转速/(r·min <sup>-1</sup> )	4 000
尺寸	总长/mm
	4 780
	总宽/mm
	1 740
通过性 参数	总高(空载)/mm
	1 470
	轴距(满载)/mm
	2 803
通过性 参数	接近角(满载)/°
	17
	离去角(满载)/°
	18.5
主要质 量参数	最小离地间隙(满载)/mm
	105
	最小转弯直径/m
	11.2
主要质 量参数	整备质量/kg
	1 435
	乘员人数/人
排放	5
	满载质量/kg
	1 810
排放	国Ⅲ

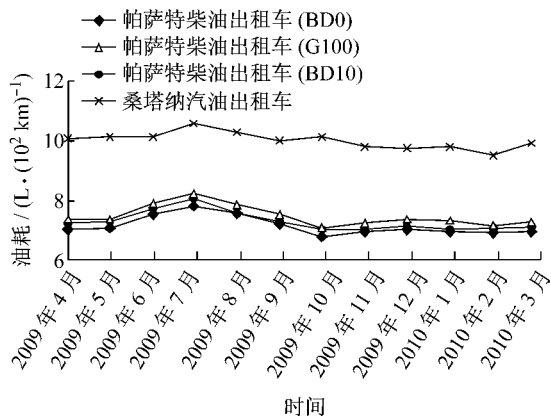


图 1 试验运行出租车平均百公里油耗

Fig.1 Fuel consumption per 100 kilometers of tested taxis

由图 1 可见,12 个月试验运行期间,柴油出租车燃用 BD0, BD10, G100、汽油出租车的月平均百公里油耗随时间变化趋势一致。受夏季使用空调及其他月份不使用空调的影响,柴油出租车燃用 BD0, BD10, G100、汽油出租车不同月份的月平均百公里油耗存在差异。在夏季(6—8 月),由于空调的集中使用,发动机功率消耗增加,柴油、汽油出租车的月平均百公里油耗升高。

对 323 辆出租车燃用 BD0,19 辆出租车燃用 BD10,8 辆出租车燃用 G100,10 辆桑塔纳汽油出租车试验运行期间的月平均百公里油耗进行统计分析,其百公里油耗分布频率如图 2 所示。

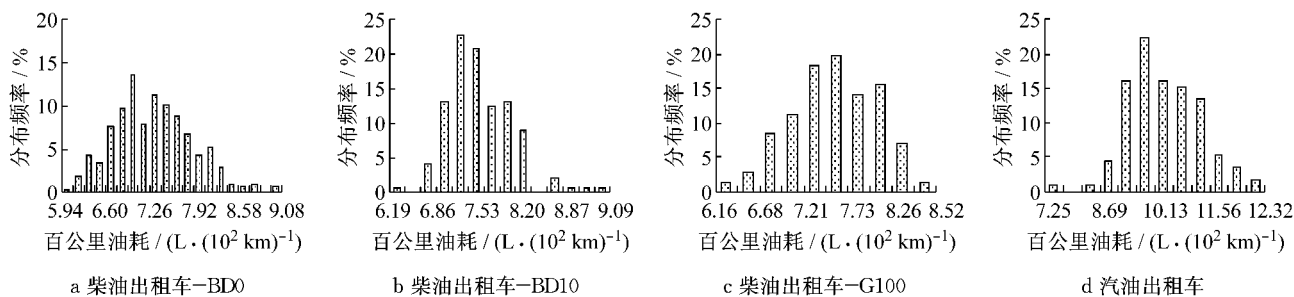


图 2 试验运行出租车月平均百公里油耗分布频率

Fig. 2 Distribution probability of fuel consumption per 100 kilometers

由图 2a, b, c 可见, 柴油出租车燃用 BD0, BD10, G100 的百公里油耗分布范围分别为  $5.94 \sim 9.08 \text{ L} \cdot (10^2 \text{ km})^{-1}$ ,  $6.19 \sim 9.09 \text{ L} \cdot (10^2 \text{ km})^{-1}$  和  $6.16 \sim 8.52 \text{ L} \cdot (10^2 \text{ km})^{-1}$ , 百公里油耗分布均值分别为  $7.15 \text{ L} \cdot (10^2 \text{ km})^{-1}$ ,  $7.26 \text{ L} \cdot (10^2 \text{ km})^{-1}$  和  $7.31 \text{ L} \cdot (10^2 \text{ km})^{-1}$ . 由图 2d 可见, 汽油出租车的百公里油耗分布范围为  $7.25 \sim 12.32 \text{ L} \cdot (10^2 \text{ km})^{-1}$ , 百公里油耗分布均值为  $9.87 \text{ L} \cdot (10^2 \text{ km})^{-1}$ . 与 BD0 比较, 柴油出租车燃用 BD10 和 G100 的百公里油耗分布均值分别升高 1.5% 和 2.3%. 这是因为, 与柴油比较, 生物柴油和天然气制

油的体积热值相对较低, 产生相同功率消耗燃料的体积增加, 百公里油耗升高. 另外, 与汽油出租车比较, 柴油出租车燃用 BD0, BD10, G100 的百公里油耗分布均值分别降低 27.6%, 26.5% 和 25.9%. 这是因为, 与汽油机比较, 柴油机具有压缩比大, 热效率高的特点, 百公里较低. 因此, 柴油出租车可在一定程度上降低出租车的运营成本.

## 2.2 排放特性

试验运行期间, 柴油出租车燃用 BD0, BD10 和 G100 的 CO, NO<sub>x</sub>, HC+NO<sub>x</sub>, PM 等法规限制污染物排放随行驶里程变化情况如图 3 所示.

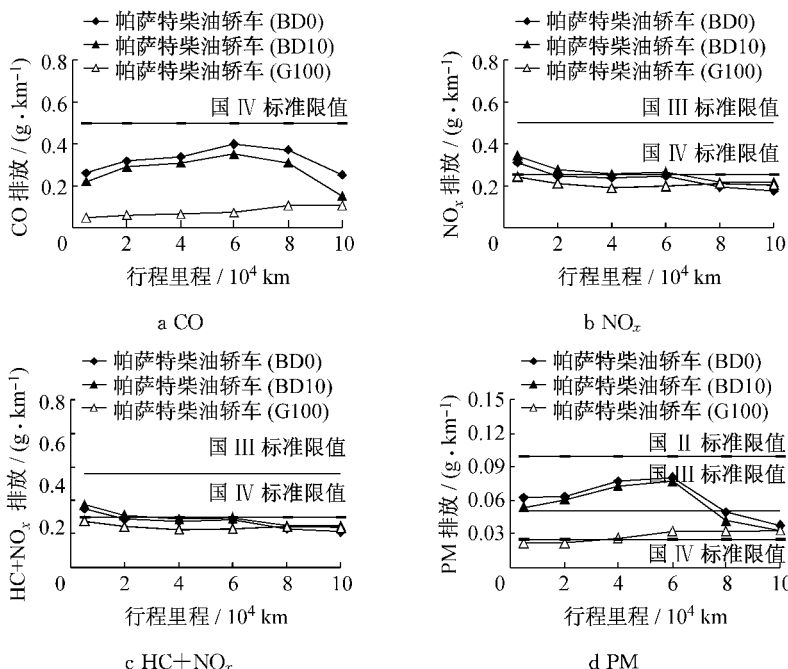


图 3 柴油出租车法规限制污染物排放测试结果

Fig. 3 Ruled emission test results of tested diesel taxis

由图 3a 可见, 柴油出租车燃用 BD0, BD10 和 G100 的 CO 排放低于国 IV 排放标准限值. 与 BD0 比较, 试验柴油出租车燃用 BD10 和 G100 的 CO 排放分别降低 17% 和 75%. CO 是碳或烃类燃烧的中间产物和不完全燃烧的产物之一, 产生的原因包括

可燃混合气温度过低、可燃混合气局部缺氧等. 生物柴油是含氧燃料, 不但增加了燃烧时氧的供给, 而且使 CO<sub>2</sub> 被还原为 CO 的机会降低. 天然气制合成油的馏出温度较低, 蒸发过程进行较快, 产生过浓区可能性较小, 产生的 CO 排放较低. 同时, 生物柴油及

天然气制合成油的十六烷值高,着火性能好,能进一步改善燃烧,能降低 CO 排放。

由图 3b 和 c 可见,柴油出租车燃用 BD0, BD10 的  $\text{NO}_x$  和  $\text{HC}+\text{NO}_x$  排放低于国 III 排放标准限值,且接近国 IV 排放标准限值,燃用 G100 的  $\text{NO}_x$  和  $\text{HC}+\text{NO}_x$  排放低于国 IV 排放标准限值。与 BD0 比较,试验柴油出租车燃用 BD10 的  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}+\text{NO}_x$  排放分布升高 12% 和 8%;燃用 G100 的  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}+\text{NO}_x$  排放分别降低 9% 和 10%。 $\text{NO}_x$  生成的主要因素为高温、富氧和高温持续时间。生物柴油富氧,对  $\text{NO}_x$  形成作用明显, $\text{NO}_x$  排放升高<sup>[10]</sup>。预混合燃烧是产生  $\text{NO}_x$  的主要阶段,由于天然气制合成油相对于柴油具有十六烷值高、滞燃期短的特点,燃烧时具有预混合燃烧比例减少,扩散燃烧比例增大的特点,能降低柴油机的  $\text{NO}_x$  排放。HC 包括无氧碳氢和有氧碳氢,生成的原因主要有混合气过浓、混合气过稀、燃烧温度过低以及反应时间过短等。一般芳香烃含量越少,滞燃期越短,HC 排放越低<sup>[11]</sup>。同时,十六烷值较高时,燃油着火性能好,滞燃期短,未燃碳氢和裂解碳氢均较少,有利于减少 HC 排放。与柴油比较,天然气制合成油的馏出温度较低,蒸发过程进行较快,产生过浓区和油束碰壁激冷区的可能性较小,HC 排放较低,其  $\text{HC}+\text{NO}_x$  排放降低。生物柴油中芳香烃含量很少,十六烷值较高,HC 排放较低,但由于该柴油轿车燃用 B10 的  $\text{NO}_x$  排放升高,导致其  $\text{HC}+\text{NO}_x$  排放稍有增加。

由图 3d 可见,柴油出租车燃用 BD0, BD10 的 PM 排放低于国 II 排放标准限值,且接近国 III 排放标准限值;燃用 G100 的 PM 排放接近国 IV 排放限值。与 BD0 比较,试验柴油出租车燃用 BD10 和

G100 的 PM 排放分别降低 9% 和 51%。这是因为,低硫含量、低密度、高十六烷值有助于降低燃料的 PM 排放。天然气制合成油、生物柴油的芳烃含量较低,燃料在燃烧过程中减少了高温裂解组分,能够改善燃料燃烧,从根本上抑制了炭烟的形成,PM 排放降低。同时,天然气制合成油、生物柴油的硫含量较低,可减少微粒的产生,PM 排放降低。

综合图 3a—d 可见,随着行驶里程的增加,柴油出租车燃用 BD0, BD10 和 G100 的 CO 及 PM 排放增加, $\text{NO}_x$  和  $\text{HC}+\text{NO}_x$  排放在新车磨合期后随行驶里程的增加有所降低,然后保持稳定。2009 年 11 月 1 日,上海开始执行沪 IV 柴油标准,柴油的硫质量分数由超过  $1\,000 \times 10^{-6}$  的国 II 柴油直接过渡到硫质量分数小于  $50 \times 10^{-6}$  的沪 IV 柴油。帕萨特柴油出租车燃用沪 IV 柴油及基于沪 IV 柴油的生物柴油混合燃料后,其 CO,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}+\text{NO}_x$  和 PM 排放明显降低。其中, $\text{NO}_x$  和  $\text{HC}+\text{NO}_x$  排放降低到国 IV 排放标准限值以内,PM 排放降低到接近国 IV 排放标准限值。这是因为,沪 IV 柴油具有芳香烃含量低、硫含量低、十六烷值高等特点。十六烷值高时,燃料的着火性能好,滞燃期短,CO 和 HC 排放降低;同时,沪 IV 柴油的硫含量较低,PM 排放降低<sup>[12]</sup>。

### 2.3 生物柴油对发动机缸内积炭的影响

柴油出租车燃用 BD0, BD10 和 G100 试验前、后第一缸喷油器的积炭情况如图 4 所示。可见,与试验运行开始时比较,柴油出租车燃用 BD0, BD10 和 G100 运行约 10 万 km 后,其喷油器头部积炭略有增加,但不影响柴油出租车的正常使用。与 BD0 比较,柴油出租车燃用 BD10 后喷油器积炭有所增加,燃用 G100 后喷油器积炭与 BD0 基本相当。

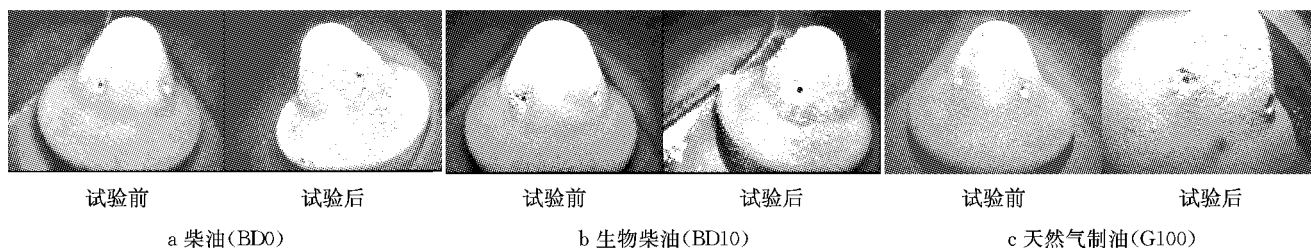


图 4 柴油、生物柴油、天然气制油对发动机喷油器积炭的影响

Fig. 4 Fuel injector carbon deposit state of BD0, BD10 and G100 fueled taxis

## 3 结论

(1) 与汽油出租车比较,柴油出租车燃用 BD0, BD10, G100 的百公里油耗分布均值分别降低

27.6%, 26.5% 和 25.9%, 柴油出租车的运营成本较低。

(2) 柴油出租车燃用 BD0, BD10 和 G100 的排放性能稳定, CO 排放低于国 IV 排放标准限值。BD0 和 BD10 的  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}+\text{NO}_x$  排放接近国 IV 排放标

准限值,PM排放接近国III排放标准限值;G100的 $\text{NO}_x$ 和 $\text{HC}+\text{NO}_x$ 排放低于国IV排放标准限值,PM排放接近国IV排放限值。

(3)与BD0比较,试验柴油出租车燃用BD10的CO和PM排放分别降低17%和9%, $\text{NO}_x$ 和 $\text{HC}+\text{NO}_x$ 排放分别升高12%及8%。燃用G100的CO, $\text{NO}_x$ , $\text{HC}+\text{NO}_x$ ,PM排放分别降低75%,9%,10%和51%。BD10和G100可以在一定程度上降低柴油出租车的污染物排放。

(4)柴油出租车燃用BD0,BD10和G100运行约10万km后,其缸内喷油器头部积炭略有增加,但不影响柴油出租车的正常使用。

### 参考文献:

- [1] 林秀丽. 中国机动车污染物排放系数研究[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(6): 29.  
LIN Xiuli. A study on emissions index of vehicles in China [J]. Environmental Science and Management, 2009, 34(6): 29.
- [2] 刘欢, 贺克斌, 王岐东. 天津市机动排放清单及影响要素研究[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(3): 370.  
LIU Huan, HE Kebin, WANG Qidong. Vehicular emissions inventory and influencing factors in Tianjin [J]. Journal of Tsinghua University: Science & Technology, 2008, 48(3): 370.
- [3] 晁琨, 黄永青, 涂行库, 等. 城市机动车污染物排放总量调查[J]. 汽车工程, 2006, 28(8): 707.  
ZI Kun, HUANG Yongqing, TU Xingku, et al. An investigation into the total amount of pollutants emission from motor vehicle in city [J]. Automotive Engineering, 2006, 28(8): 707.
- [4] 王爱娟, 葛蕴珊, 谭建伟, 等. 北京市出租车实际道路行驶特征与排放特性的关系研究[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(8): 8941.  
WANG Aijuan, GE Yunshan, TAN Jianwei, et al. Study on relationships between on-road driving characters and emission characteristics of taxis in Beijing [J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2010, 30(8): 8941.
- [5] 聂彦鑫, 徐俊芳. 我国柴油轿车的发展前景[J]. 汽车工程师, 2009(9): 12.  
NIE Yianxin, XU Junfang. Development prospect of diesel engine car in domestic [J]. Auto Engineer, 2009(9): 12.
- [6] 吴修文, 孙玉娟, 袁修坤, 等. 我国柴油轿车的发展现状及展望[J]. 农业装备与车辆工程, 2007(1): 7.  
WU Xiuwen, SUN Yujuan, YUAN Xiujun, et al. The present situation and development prosperity of diesel car in China [J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2007(1): 7.
- [7] 楼狄明, 胡志远, 谭丕强. 中国特大型城市柴油出租车应用研究[J]. 石油商技, 2007(1): 42.  
LOU Diming, HU Zhiyuan, TAN Piqiang. Application research of diesel taxi demonstration in oversize city in China [J]. Petroleum Products Application Research, 2007(1): 42.
- [8] 胡志远, 谭丕强, 楼狄明. 柴油出租车燃用麻疯树制生物柴油的试验研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2010, 38(6): 898.  
HU Zhiyuan, TAN Piqiang, LOU Diming. Experimental research of diesel taxis fueled by jatropha-based biodiesel Blends [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2010, 38(6): 898.
- [9] 楼狄明, 何蕊, 胡志远, 等. 帕萨特柴油出租车燃用天然气制油的路试排放特性研究[J]. 汽车技术, 2007(5): 15.  
LOU Diming, HE Rui, HU Zhiyuan, et al. Road-test emission research of PASSAT diesel taxi fueled with gas-to-liquid fuel [J]. Automobile Technology, 2007(5): 15.
- [10] 袁银南, 江清阳, 孙平, 等. 柴油机燃用生物柴油的排放特性研究[J]. 内燃机学报, 2003, 21(6): 423.  
YUAN Yinnan, JIANG Qingyang, SUN Ping, et al. Study of emission characteristics of diesel engine fueled with biodiesel [J]. Transactions of CSICE, 2003, 21(6): 423.
- [11] 覃军, 刘海峰, 尧命发, 等. 柴油机掺烧不同比例生物柴油的试验研究[J]. 燃烧科学与技术, 2007, 13(4): 335.  
QIN Jun, LIU Haifeng, YAO Mingfa, et al. Experiment study on diesel engine fueled with biodiesel and diesel fuel [J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2007, 13(4): 335.
- [12] 李勤. 现代内燃机排气污染物的测量与控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.  
LI Qin. Emission measurement and control of advance inter combustion engine [M]. Beijing: China Machine Press, 1998.