

柴油轿车燃用生物柴油的模态颗粒排放特性

胡志远, 林建军, 谭丕强, 楼狄明

(同济大学 汽车学院, 上海 201804)

摘要: 以帕萨特柴油轿车为试验样车, 使用排气颗粒数量及粒径分析仪(EEPS), 对分别燃用沪IV柴油、生物柴油混合体积分数分别为5%, 10%, 20%和50%的沪IV柴油-生物柴油混合燃料、纯生物柴油的模态颗粒排放特性进行了试验研究. 结果表明: GB18352.3—2005 I型试验循环中, 该车燃用生物柴油的聚集态颗粒数量浓度下降, 核模态颗粒数量浓度上升, 总颗粒数量浓度变化不大; 随着生物柴油混合比例的增加, 该车燃用沪IV柴油-生物柴油混合燃料排气颗粒的平均粒径降低, 颗粒数量浓度峰值向小粒径方向偏移.

关键词: 柴油轿车; 生物柴油; 颗粒数量; 颗粒粒径; 排放
中图分类号: U469.11; U473.19 **文献标识码:** A

NEDC Particle Number and Size Emission Characters of a Diesel Car Fueled with Biodiesel Blends in Laboratory

HU Zhiyuan, LIN Jianjun, TAN Piqiang, LOU Diming

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

Abstract: Biodiesel fuel blends were used on a diesel car, and the effects of biodiesel on vehicle's particle number and size emission characters were studied with an engine exhaust particle sizer (EEPS) at new European driving cycle (NEDC) test. A test was made without any engine modification on a pure petroleum diesel and a pure biodiesel as well as some blends of petroleum diesel-biodiesel with the blend ratio of 5%, 10%, 20% or 50% respectively. The results show that the total concentration of particle number reduces little when the car is fueled with biodiesel. The number of accumulation mode particles decreases whereas the number of nucleation mode particles increases significantly with the increasing of the blend ratio of biodiesel. At the same time, the average diameter of particle matters decreases and the peak of particle number concentration shifts to small diameter particle side.

Key words: diesel car; biodiesel; particle number; particle

size; emission

随着我国经济的飞速发展, 汽车产量迅猛增长, 汽车污染已超过工业污染、建筑扬尘污染等, 成为许多城市空气污染的主要来源. 颗粒物是柴油车的主要污染物排放之一, 柴油车排放的颗粒污染物含有大量多环芳烃等有害物质, 长期暴露于含有高浓度机动车排气颗粒的空气中, 容易引发严重的呼吸系统疾病^[1]. 因此, 降低柴油车的颗粒物排放是实现汽车减排的重要途径.

生物柴油具有十六烷值高、润滑性好、可再生性好等特点^[2]. 研究表明: 发动机使用生物柴油后, 其排气颗粒质量和烟度降低^[3-5], 排气颗粒的尺寸呈单峰或双峰对数分布^[6], 聚集态颗粒的数量浓度降低^[7], 但核模态颗粒的数量浓度增加^[8]. 随着生物柴油混合比例的增加, 发动机排气颗粒数量浓度呈持续上升趋势, 但生物柴油排放颗粒中的总PAHs排放浓度降低^[9].

本文根据《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ, IV阶段)》(GB18352.3—2005) I型试验循环, 对帕萨特柴油轿车分别燃用沪IV柴油、生物柴油混合体积分数分别为5%, 10%, 20%和50%的沪IV柴油-生物柴油混合燃料、纯生物柴油的模态颗粒排放特性进行试验研究, 系统考察该车燃用生物柴油混合燃料的颗粒数量浓度、颗粒粒径排放特性.

1 试验样车及试验方案

1.1 试验样车及设备

试验样车为帕萨特柴油轿车, 发动机为水冷直列四缸两气门、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氧化催化转换器.

其主要技术参数如表 1 所示。

表 1 柴油轿车主要技术参数

Tab.1 Technical parameters of diesel car

项目	参数
发动机额定功率/kW	96
发动机额定转速/(r·min ⁻¹)	4 000
发动机额定扭矩/(N·m)	285
发动机额定扭矩转速/(r·min ⁻¹)	1 750
发动机排量/L	1.896
压缩比	19:1
最高车速/(km·h ⁻¹)	202
排放标准	国Ⅲ

试验系统包括 -20 ~ 50 °C 环境模拟舱、SCHENCK 汽车底盘测功机,以及 TSI 颗粒粒径分析仪。本研究采用两级稀释对柴油轿车的排气颗粒进行稀释,总稀释比为 500:1。其中,第一级稀释系统采用 TSI 公司的专用旋转盘稀释器,控制初级稀释系统的加热温度为 120 °C,稀释比为 200:1;第二级稀释采用一个流量计对进气流量进行补偿,稀释比为 2.5:1。

1.2 试验燃料

试验燃料分别为沪Ⅳ柴油、生物柴油混合体积分数分别为 5%,10%,20%和 50%的沪Ⅳ柴油-生物柴油混合燃料和纯生物柴油,分别简称为沪Ⅳ, B5, B10, B20, B50 和 B100。沪Ⅳ柴油和纯生物柴油的主要理化指标如表 2 所示。

表 2 试验燃料的理化指标

Tab.2 Physical and chemical parameters of biodiesel blends

理化指标	沪Ⅳ柴油	B100
20 °C 密度/(g·L ⁻¹)	827	877
40 °C 运动粘度/(mm ² ·s ⁻¹)	3.3	4.2
十六烷值	50.5	52.7
低热值/(MJ·kg ⁻¹)	42.48	39.01
碳质量分数/%	84.60	77.35
氧质量分数/%	0	10.8
硫质量分数/%	0.002 9	0.014 8

1.3 试验方案

排放测试依据《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ,Ⅳ阶段)》(GB18352.3—2005)Ⅰ型试验循环进行。整个测试循环共持续 1 180 s。

2 颗粒数量浓度与速度的时间对齐

由于 EEPS 无法自动集成车辆的速度数据,试验车辆的速度来自底盘测功机。为保证工况与颗粒数量浓度一一对应,需将颗粒数量浓度与速度在时

间上进行对齐。颗粒数量浓度与车速的瞬态对应特性很好,其一般的规律是,颗粒数量浓度随车速的升高而升高。所以精确的对齐方法是将两者的数据对比,并将数量浓度随时间的变化曲线进行平移。图 1 是经过平移后的 B20 燃油曲线,从图中可以看到两者吻合得很好。按照同样的方法将其他几种燃油的数据进行了前期处理。

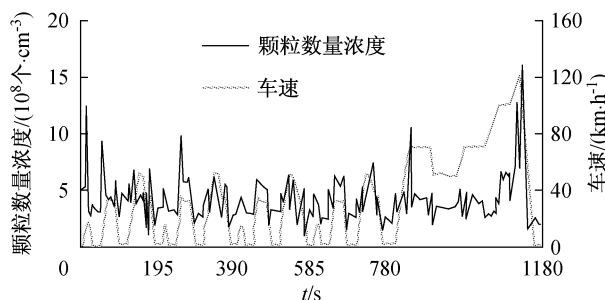


图 1 柴油轿车燃用 B20 颗粒数量浓度-速度曲线(平移后)

Fig.1 Particle number-velocity of diesel car fueled with B20

3 试验结果与分析

3.1 柴油轿车燃用生物柴油颗粒数量浓度排放特性

图 2 为燃用沪Ⅳ柴油, B5, B10, B20, B50 和 B100 的总颗粒数量浓度、核模态颗粒数量浓度、聚集态颗粒数量浓度随试验时间的变化曲线。图 3 和图 4 分别为燃用沪Ⅳ柴油和 B100 的核模态和聚集态颗粒数量浓度随试验时间的变化曲线。

由图 2~4 可见,在 GB18352.3—2005 Ⅰ型试验循环中,燃用生物柴油后,总颗粒数量浓度排放特性与燃用沪Ⅳ柴油相近,核模态颗粒数量浓度增加,聚集态颗粒数量浓度降低。这是因为生物柴油含氧量高,一方面有利于燃烧,促使部分大粒径碳烟颗粒向小粒径碳烟颗粒转化,使燃烧后的核模态颗粒增加,聚集态颗粒下降;另一方面,生物柴油的聚集态颗粒数量减少使聚集态颗粒对挥发性组分的吸附能力减弱,导致颗粒成核作用增强,促使核模态颗粒增加^[6]。另外,试验用生物柴油的硫含量高于沪Ⅳ柴油,而硫酸盐颗粒是核模态颗粒的主要组成部分。同时,生物柴油的十六烷值高,滞燃期短,有利于燃烧,进一步降低了聚集态颗粒数量浓度,增加了核模态颗粒数量浓度^[10]。

由图 2~4 可见,在 GB18352.3—2005 Ⅰ型试验循环的加速阶段,燃用沪Ⅳ柴油, B5, B10, B20, B50

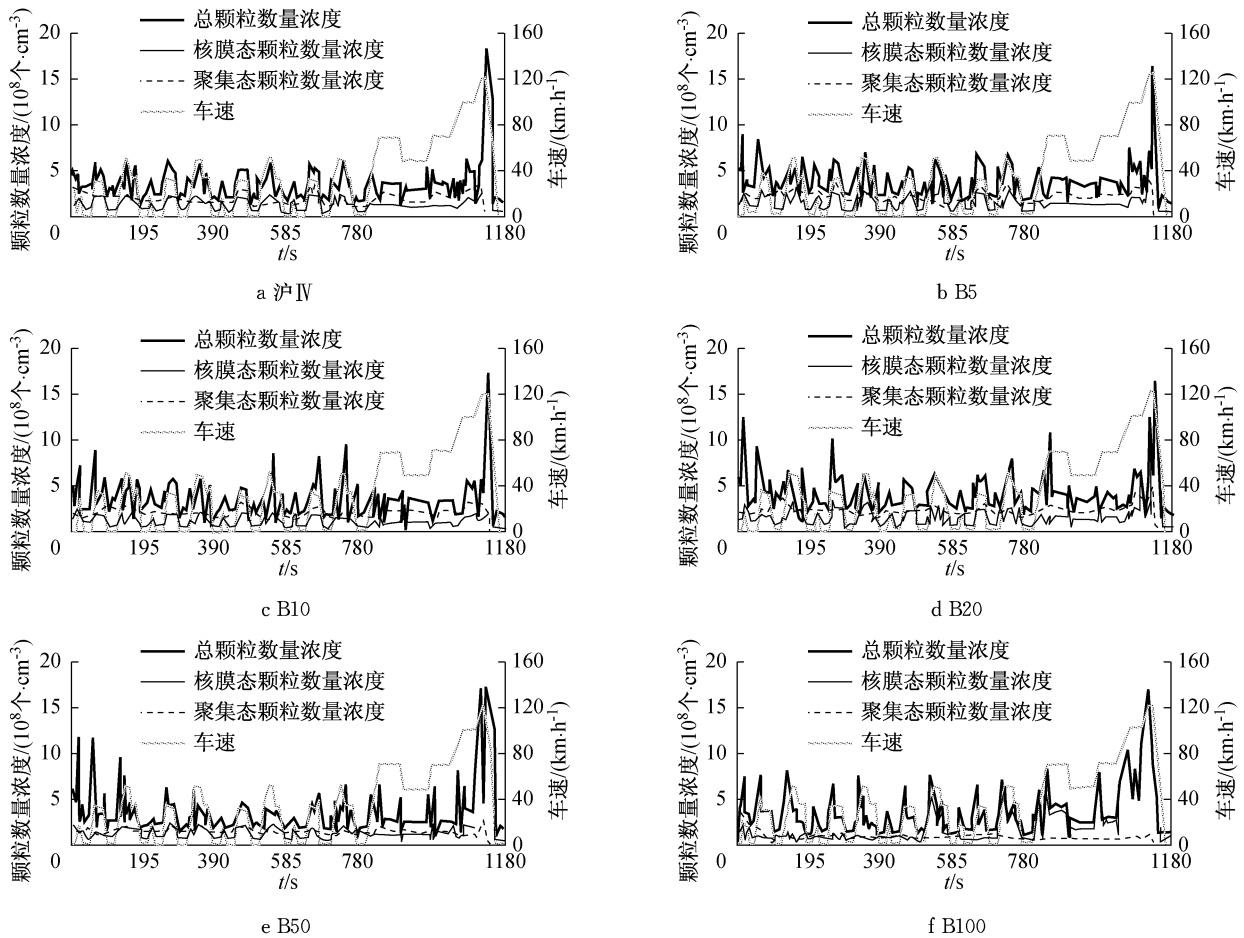


图2 GB18352.3—2005 I 型试验循环总颗粒数量浓度排放特性

Fig.2 Emission characteristics of the particle number at NEDC test

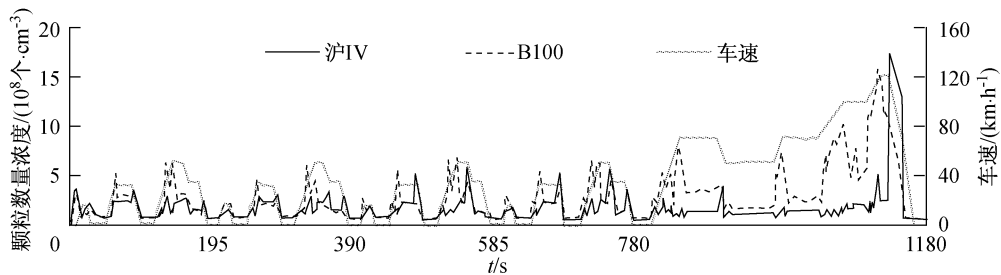


图3 GB18352.3—2005 I 型试验循环核模态颗粒数量浓度排放特性

Fig.3 Emission characteristics of the nucleation mode particle number at NEDC test

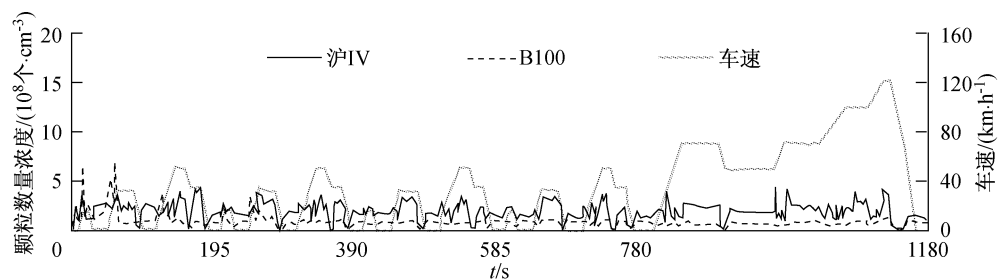


图4 GB18352.3—2005 I 型试验循环聚集态颗粒数量浓度排放特性

Fig.4 Emission characteristics of the accumulation mode particle number at NEDC test

和 B100 的总颗粒数量浓度、核模态颗粒数量浓度、聚集态颗粒数量浓度增加。同时,加速阶段,该车燃用生物柴油核模态颗粒数量浓度的增加幅度大于沪 IV 柴油;聚集态颗粒数量浓度增加幅度低于沪 IV 柴油。这是因为在加速工况下,发动机负荷急剧升高,喷入的燃油显著增加,空燃比变化大,导致燃烧不稳定,使得总颗粒数量及聚集态颗粒数量排放增加。同时,生物中含氧,在一定程度上改善了燃烧,使聚集态颗粒排放降低,核模态颗粒排放增加。

由图 2~4 可见,在 GB18352.3—2005 I 型试验循环的减速阶段,燃用沪 IV 柴油, B5, B10, B20, B50 和 B100 的聚集态颗粒数量浓度降低,总颗粒数量浓度和核模态颗粒数量浓度呈先上升后下降的趋势,生物柴油和沪 IV 柴油的变化幅度基本相同。这是因为在减速工况下,一方面发动机负荷急剧变小,喷入的燃油变少,空燃比变大,产生的碳烟较少,使聚集态颗粒浓度降低;另一方面,减速时,发动机由在一定负荷下工作快速过渡到怠速,残留在气缸或排气管道中的颗粒物会被排气气流夹带出来,因此核模态颗粒呈先增加后降低的趋势。

由图 4 可见,在 GB18352.3—2005 I 型试验循环的冷起动阶段,与燃用沪 IV 柴油比较,燃用生物柴油的聚集态颗粒物数量浓度排放较高。这是因为冷起动状态下,发动机缸内温度较低,燃油蒸发较慢;另外,车辆起动时转速较低,燃烧室内气流运动较慢,燃油空气混合较差;同时,生物柴油的粘度较高,雾化质量相对较差。三个因素综合作用,导致车辆冷起动时生物柴油出现局部燃烧不充分的现象,聚集态颗粒数量浓度增加。

对排放测试循环的颗粒排放的数量浓度按照时间进行平均,得到整个 GB18352.3—2005 I 型循环该柴油轿车燃用沪 IV 柴油, B5, B10, B20, B50 和 B100 6 种燃料排放的核模态颗粒、聚集态颗粒及总颗粒的平均数量浓度如图 5 所示。可见,燃用生物柴油后,聚集态颗粒数量下降,核模态颗粒数量上升,总颗粒数量变化不大。随着生物柴油混合比例的增加,排气颗粒的聚集态颗粒数量降低,核模态颗粒数量增加。与沪 IV 柴油比较,燃用纯生物柴油(B100)的总颗粒平均数量浓度降低约 7%,聚集态降低 58%,核模态增加 54%。

3.2 柴油轿车燃用生物柴油颗粒粒径分布特性

3.2.1 颗粒粒径分布

由图 6 可见,燃用生物柴油后,随着生物柴油配比的增加,颗粒数量浓度峰值往小粒径方向移动,并

且在小粒径范围内开始出现峰值。沪 IV 柴油排气颗粒数量的粒径呈单峰分布,沪 IV 柴油及低生物柴油配比核模态颗粒数量峰值在 1×10^{10} 数量级以下; B100 排气颗粒数量的粒径呈明显的双峰分布,其核模态颗粒数量峰值达 2.5×10^{10} 数量级以上。

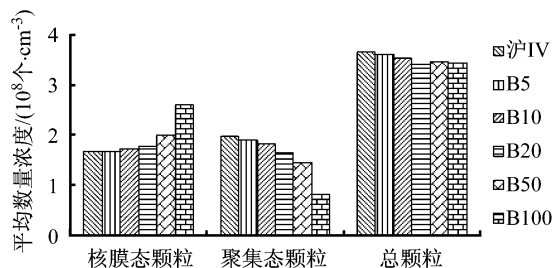


图 5 GB18352.3—2005 I 型试验循环颗粒数量排放特性
Fig.5 Emission characteristics of particle number at GB18352.3—2005 I NEDC test

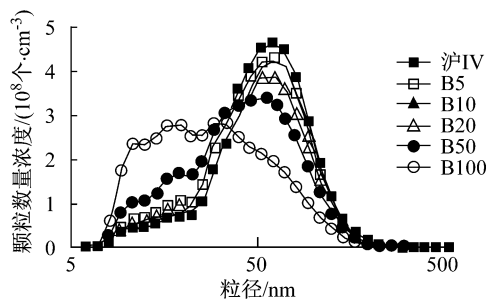


图 6 GB18352.3—2005 I 型试验循环颗粒粒径分布
Fig.6 The distribution of particle sizes at GB18352.3—2005 I NEDC test

3.2.2 颗粒平均粒径

燃用沪 IV 柴油, B5, B10, B20, B50 和 B100 排气颗粒的平均粒径 D 可由式(1)计算:

$$D = \frac{\sum N_i D_i}{N_{\text{总}}} \quad (1)$$

式中: $N_{\text{总}}$ 为总颗粒数量浓度; N_i 为 i 粒径区间下的颗粒数量浓度; D_i 为 i 粒径区间的特征粒径。

由图 7 可见,由于生物柴油具有含硫量高、含氧量高、十六烷值高等特点。该车燃用生物柴油后,随着生物柴油配比增加,GB18352.3—2005 I 型试验循环排放颗粒的平均粒径降低。与沪 IV 柴油比较, B100 的平均粒径降低 37%。

由图 8 可见,GB18352.3—2005 I 型试验循环中,减速工况排气颗粒的平均粒径在 30~40 nm 之间,随着生物柴油配比的增加,减速工况排气颗粒的平均粒径变化不大。怠速、加速和匀速工况,随着生物柴油配比的增加,排气颗粒的平均粒径总体呈下降趋势。与沪 IV 柴油比较, B100 怠速、加速和匀速工

况排气颗粒的平均粒径分别降低 15%, 41% 和 43%。

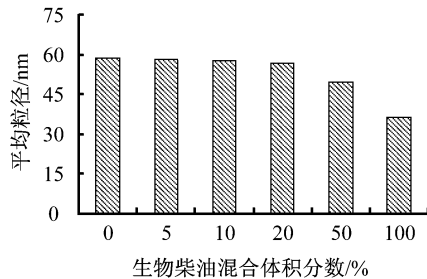


图7 不同燃料的平均粒径

Fig.7 The average particle diameter of different fuels

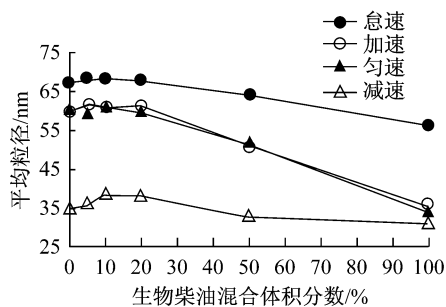


图8 不同工况下的平均粒径

Fig.8 The average particle size under different conditions

4 结论

(1) 燃用生物柴油后,帕萨特柴油轿车总颗粒数量浓度排放特性与沪Ⅳ柴油相近;随着生物柴油配比的增加,该车排气颗粒的核模态颗粒数量浓度增加,聚集态颗粒数量浓度降低。

(2) 该柴油轿车燃用沪Ⅳ柴油,B5,B10,B20,B50和B100,在GB18352.3—2005 I型试验循环加速阶段,排气颗粒物的总颗粒数量浓度、核模态颗粒数量浓度、聚集态颗粒数量浓度增加;减速阶段,排气颗粒的聚集态颗粒数量浓度降低,总颗粒数量浓度和核模态颗粒数量浓度呈先上升后下降的趋势。

(3) 随着生物柴油配比的增加,该车燃用生物柴油排气颗粒的数量浓度峰值往小粒径方向移动,并且在小粒径范围内开始出现峰值;沪Ⅳ柴油排气颗粒数量的粒径呈单峰分布;B100排气颗粒数量的粒径呈明显的双峰分布。

(4) 随着生物柴油配比的增加,该车燃用生物柴油试验循环排气颗粒的平均粒径减少;怠速、加速

和匀速工况排气颗粒的平均粒径降低;减速工况排气颗粒的平均粒径变化不大。

参考文献:

- [1] André Nel. Air pollution-related illness: effects of particles [J]. Science, 2005, 308(5723): 804.
- [2] 吴谋成. 生物柴油[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [3] WU Moucheng. Biodiesel [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [4] Lapuerta M, Rodriguez-Fernandez J, Agudelo J R. Diesel particulate emissions from used cooking oil biodiesel [J]. Bioresource Technology, 2008, 99: 731.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 张旭升, 王海滨, 赵晖, 等. 共轨柴油机燃用生物柴油限制与非限制排放特性[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 1.
- [8] ZHANG Xusheng, WANG Haibing, ZHAO Hui, et al. Characteristics of regulated and unregulated emissions of biodiesel blends in a common rail diesel engine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 1.
- [9] 谭丕强, 胡志远, 楼狄明. 车用发动机燃用生物柴油的颗粒数量排放[J]. 汽车安全与节能学报, 2010, 1(1): 83.
- [10] TAN Piqiang, HU Zhiyuan, LOU Diming. Particle number emission from a vehicle diesel engine with biodiesel fuel [J]. J Automotive Safety and Energy, 2010, 1(1): 83.
- [11] 赵晖, 张旭升, 胡宗杰, 等. 国Ⅲ柴油机生物柴油颗粒排放特性研究[J]. 内燃机工程, 2009, 30(1): 23.
- [12] ZHAO Hui, ZHANG Xusheng, HU Zongjie, et al. Particle size distribution of PM emissions in a china-Ⅲ diesel engine fueled with biodiesel [J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2009, 30(1): 23.
- [13] 谭丕强, 楼狄明, 胡志远. 发动机燃用生物柴油的核态颗粒排放[J]. 工程热物理学报, 2010, 31(7): 1231.
- [14] TAN Piqiang, LOU Diming, HU Zhiyuan. Nucleation mode particles from a diesel engine with biodiesel fuel [J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2010, 31(7): 1231.
- [15] 葛蕴珊, 何超, 韩秀坤, 等. 生物柴油排放微粒特性的试验研究[J]. 环境科学, 2007, 8(7): 1632.
- [16] GE Yunshan, HE Chao, HAN Xiukun, et al. Experimental study on characteristics of biodiesel exhausted [J]. Particle Environmental Science, 2007, 8(7): 1632.
- [17] 王晓燕, 李芳, 葛蕴珊, 等. 甲醇柴油与生物柴油微粒排放粒径分布特性[J]. 农业机械学报, 2009, 40(8): 7.
- [18] WANG Xiaoyan, LI Fang, GE Yunshan, et al. Particle size distribution of particulate matter emission from the diesel engine burning methanol-diesel fuel and biodiesel [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(8): 7.