

文章编号:1671-8879(2009)04-0101-05

# 生物柴油-乙醇-水微乳化燃料的燃烧和排放特性

陈 昊, 欧阳雪, 任学成, 宋宝珍, 何 建

(长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

**摘 要:**为了研究生物柴油-乙醇-水微乳化燃料在柴油机上的应用,在一台单缸直喷式柴油机上进行了燃烧特性和排放特性的对比试验,分别使用燃烧分析仪和排放分析仪,测录燃料的燃烧压力和排放浓度。研究表明:与生物柴油相比,随着乙醇和水的加入,微乳化燃料的压力曲线、压力升高率曲线以及放热率曲线明显后移;小负荷时,生物柴油-乙醇-水微乳化燃料峰值燃烧压力高,而峰值压力升高率和峰值瞬时燃烧放热率略低;大负荷时,微乳化燃料峰值燃烧压力、峰值压力升高率和峰值瞬时燃烧放热率均明显增加;微乳化燃料燃烧开始时放热明显滞后,燃烧结束时放热明显提前,微乳化燃料  $\text{NO}_x$  和烟度排放降低。

**关键词:**汽车工程;生物柴油-乙醇-水;微乳化燃料;燃烧特性;排放特性

中图分类号:U473

文献标志码:A

## Combustion and emission characteristics of biodiesel-ethanol-water micro-emulsion fuel

CHEN Hao, OU-YANG Xue, REN Xue-cheng, SONG Bao-zhen, HE Jian

(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** To study the application of biodiesel-ethanol-water micro-emulsion fuel on diesel engines, the combustion and emission performances are compared on a single-cylinder diesel engine, the combustion analyzer and emission analyzer are used to test the pressure and emission concentration of fuels respectively. The results indicate that: compared with biodiesel, with the adding of ethanol and water, the combustion curves of micro-emulsion fuel will delay apparently; at small loads, the peak pressure of micro-emulsion fuel is high, while peak pressure ratio and peak heat release ratio will decrease; at high loads, the peak pressure, peak pressure ratio and peak heat release ratio of micro-emulsion fuel will increase; the start of combustion will delay, but at the end of combustion, the heat release ratio will increase obviously;  $\text{NO}_x$  and smoke of the micro-emulsion fuel will decrease. 1 tab, 7 figs, 16 refs.

**Key words:** automobile engineering; biodiesel-ethanol-water; micro-emulsion fuel; combustion characteristic; emission characteristic

## 0 引 言

生物柴油作为清洁含氧燃料,能减少  $\text{CO}_2$  的排

放和降低空气污染物的排放,减少对水体和土壤的污染,因此推广使用生物柴油具有重大的环境保护意义<sup>[1-6]</sup>。目前已证实,柴油机燃用生物柴油能够降

低微粒、烟度、HC和CO的排放<sup>[7-16]</sup>;生物柴油由于粘度大、雾化不好以及NO<sub>x</sub>排放高等因素,所以通常以低比例与柴油混合使用。为了降低柴油机燃用生物柴油的NO<sub>x</sub>排放,本文针对生物柴油的特点,通过掺入乙醇和水形成微乳化燃料,并与生物柴油进行了燃烧和排放的对比试验研究,为生物柴油彻底替代柴油提供了试验依据和理论基础。

## 1 试验仪器与方法

### 1.1 试验发动机及仪器

试验用发动机为ZH1105W型单缸直喷柴油机,气缸直径为105 mm,活塞行程为115 mm,压缩比为16.5,排量为0.996 L,标定功率为11.03 kW,原机喷油提前角为上止点前22°,最大扭矩对应转速为1500 r/min。采用由日本小野公司生产的CB566燃烧分析仪、电荷放大器、压力传感器、光电传感器和曲轴转角发生器等组成的一套动态测试分析仪,测录发动机的示功图;测量废气排放采用奥地利AVL公司生产的AVL Digas4000发动机排气分析仪;烟度测量采用AVL Dismoke4000部分流不透光烟度计,用消光系数 $K(m^{-1})$ 表示烟度值。

### 1.2 微乳化燃料的制备

本试验选取陕西天维公司以大豆油为原料生产的生物柴油(用B100表示)。当生物柴油和乙醇体积比为4:1时,使用表面活性剂司盘80,在不需要大功率乳化装置的前提下仅通过手动搅拌就可与水形成稳定的微乳化燃料。把体积比为4:1的生物柴油和乙醇混合燃料称为基础燃料,记为R20。选择R20的工程意义在于保证燃料热值下降不多的情况下尽可能提高掺水量。通过试验发现,100 mL的R20最大掺水量与司盘80添加量的关系如表1所示。由表1可以看出,随着司盘80添加量的增加,100 mL的R20混合燃料的最大掺水量略有增加。考虑到乙醇热值较低,掺水量过多会引起微乳化燃料热值大幅度降低,加上掺水量的小幅度增加,需要大量表面活性剂,造成成本过高,因此,选择R20W1.5(100 mL的R20中添加1.5 mL水)与纯生物柴油进行对比。

表1 生物柴油-乙醇-水微乳化燃料最大掺水量

司盘80添加量/g	1	4	8	10
100 mL的R20混合燃料的最大掺水量/mL	1.4	1.6	1.8	2.0

注:最大掺水量指形成微乳化燃料的最大加水量,如果进一步增加水量,热力学稳定的微乳化燃料则转变为不稳定的乳化燃料。

## 1.3 测试及处理方法

### 1.3.1 燃烧特性测试及处理方法

选择转速 $n$ 为1500 r/min、平均有效压力 $P_{me}$ 为0.177 MPa和0.531 MPa的工况点,测试燃烧特性。燃烧压力通过燃烧分析仪直接测出并采集,连续采集100个循环并进行平均计算,再利用ORIGIN软件进行光滑处理得到最后的示功图。示功图直接对曲轴转角求导即得到压力升高率;通过程序求出瞬时燃烧放热率。

### 1.3.2 排放特性测试及处理方法

选择转速 $n$ 为1500、1800 r/min的负荷特性( $P_{me}$ 为0.177~0.531 MPa),对比分析生物柴油-乙醇-水微乳化燃料和生物柴油的排放特性。

## 2 结果分析

### 2.1 燃烧特性的对比

图1表示 $n$ 为1500 r/min、 $P_{me}$ 为0.177 MPa时,R20W1.5与B100的气缸压力及压力升高率的对比。图2(见下页)表示 $n$ 为1500 r/min、 $P_{me}$ 为0.531 MPa时,R20W1.5与B100的气缸压力及压力升高率的对比。

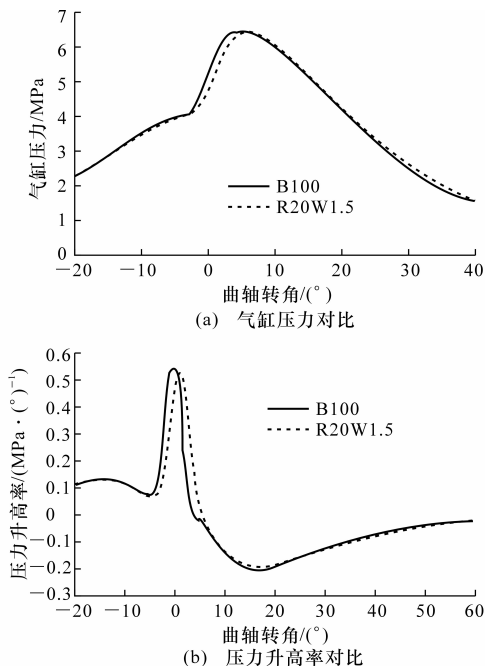
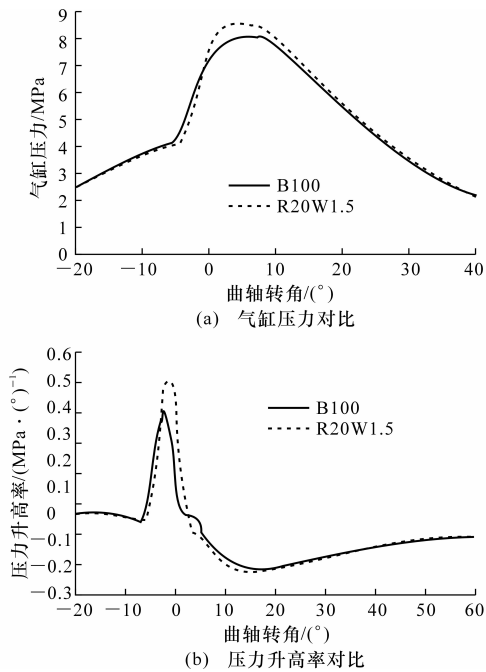


图1  $P_{me}$ 为0.177 MPa、 $n$ 为1500 r/min时燃烧参数对比

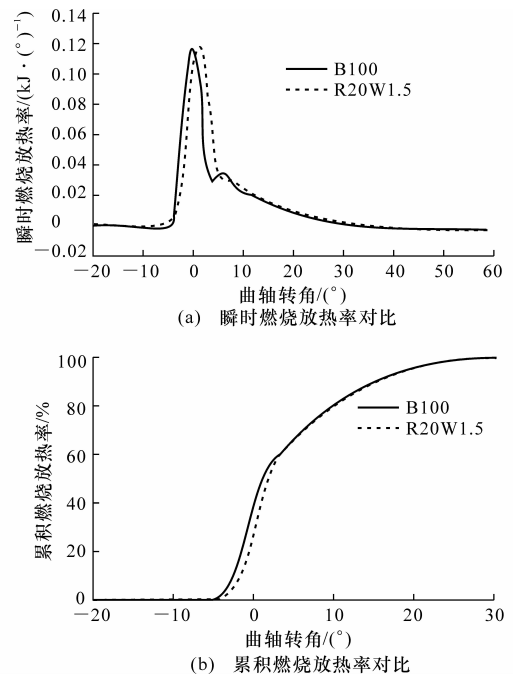
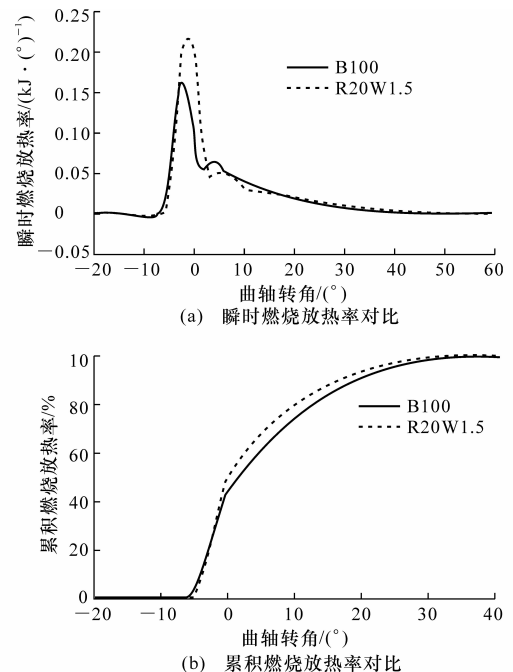
由图1可以看出:①与生物柴油B100相比,R20W1.5的气缸压力曲线和压力升高率曲线明显后移,这是由于乙醇和水汽化潜热高,会吸收热量,导致燃烧推迟,此外,乙醇的十六烷值低、着火性差,加上水不会燃烧,都会使燃烧延迟;②R20W1.5的最大气缸压力为6.41 MPa,高于B100的6.39

图2  $P_{me}$ 为0.531 MPa、 $n$ 为1500 r/min时燃烧参数对比

MPa,虽然R20W1.5的热值明显低于B100,但是乙醇含氧量为34.78%,远高于生物柴油,因此一旦燃烧开始,R20W1.5的高含氧量将加快燃烧速度,燃烧放热也更加集中;③水作为微乳化燃料的内相,它吸热汽化产生微爆效应,相当于对燃料进行二次雾化,从而使燃料燃烧的更完全。因此乙醇和水的存在使气缸压力增加。由图2可以看出:①与生物柴油B100相比,R20W1.5的气缸压力曲线和压力升高率曲线后移,燃烧延迟;②R20W1.5的最大气缸压力为8.52 MPa,明显高于B100的8.12 MPa,压力增加的原因同上,说明乙醇和水对气缸压力的影响非常大。

图3表示 $n$ 为1500 r/min、 $P_{me}$ 为0.177 MPa时,微乳化燃料R20W1.5与B100瞬时燃烧放热率及累积燃烧放热率的对比;图4表示 $n$ 为1500 r/min、 $P_{me}$ 为0.531 MPa时,R20W1.5与B100瞬时燃烧放热率及累积燃烧放热率的对比。

由图3(a)、图4(a)可以看出:①与生物柴油B100相比,R20W1.5的瞬时燃烧放热率曲线明显后移,乙醇和水汽化潜热高,会吸收热量,乙醇的十六烷值低、着火性差,会导致曲线后移;②R20W1.5的最大瞬时燃烧放热率高于B100,乙醇含氧量为34.78%,远高于B100,燃烧开始后,R20W1.5的高含氧量将加快燃烧速度;③水作为微乳化燃料的内相,它吸热汽化产生微爆效应,相当于对燃料进行二次雾化,从而使燃料燃烧的更完全,因此最大瞬时燃烧放热率增加;④ $P_{me}$ 为0.177 MPa时,R20W1.5

图3  $P_{me}$ 为0.177 MPa、 $n$ 为1500 r/min时放热参数对比图4  $P_{me}$ 为0.531 MPa、 $n$ 为1500 r/min时放热参数对比

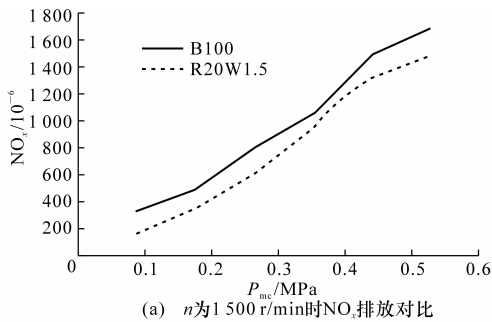
的峰值瞬时燃烧放热率略高于B100,两者差距不大,这是因为负荷小,气缸内热力状态差,乙醇着火性差的劣势相对强化,而乙醇和水对燃烧的促进作用相对弱化,而当负荷增加到0.531 MPa时,R20W1.5的峰值瞬时燃烧放热率明显高于B100,这是因为气缸内热力状态得到明显提升,乙醇和水对燃烧的促进作用得到明显体现。

由图3(b)、图4(b)可以看出:①与生物柴油B100相比,燃烧初期R20W1.5的累积燃烧放热率

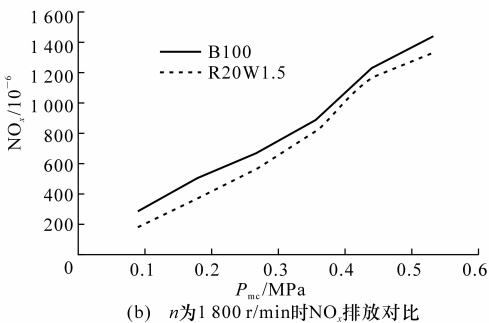
低于 B100, 在某个角度后超过 B100, 且燃烧放热较 B100 提前结束, 虽然着火性差导致初期放热较慢, 但随水的微爆改善了喷雾场的均匀度, 加上乙醇含氧量高加速燃烧都直接使得微乳化燃料放热速度加快, R20W1.5 的瞬时燃烧放热率的第 2 个峰值明显低于 B100, 也可以看出后期放热少; ②  $P_{me}$  为 0.177 MPa 时, 燃烧初期 R20W1.5 的累积燃烧放热率明显低于 B100, 在某个角度后略高于 B100, 但是相差并不明显, 而当负荷增加到 0.531 MPa 时, 燃烧初期 R20W1.5 的累积燃烧放热率略低于 B100, 在某个角度后明显高于 B100, 并且提前结束燃烧。

## 2.2 排放特性的对比

图 5 表示  $n$  为 1 500 r/min 和 1 800 r/min 时的  $NO_x$  排放对比。



(a)  $n$  为 1 500 r/min 时  $NO_x$  排放对比



(b)  $n$  为 1 800 r/min 时  $NO_x$  排放对比

图 5 负荷特性的  $NO_x$  排放对比

与 B100 相比, R20W1.5 的  $NO_x$  排放分别降低 15.91% 和 22.43%。R20W1.5 微乳化燃料  $NO_x$  排放降低需要从其成分并结合燃烧特性进行分析。导致  $NO_x$  排放增加的因素有: 乙醇的加入会使得微乳化燃料含氧量进一步增加, 并使燃烧放热更加集中, 导致最高燃烧温度高于生物柴油 (燃烧温度曲线见图 6); 导致  $NO_x$  排放降低的因素有: 乙醇和水的汽化潜热高于生物柴油, 在燃烧初期吸收了热量使得燃烧温度降低, 虽然 R20W1.5 的放热集中, 最高燃烧温度高, 但是 2 个因素 (R20W1.5 瞬时放热率第 2 峰值明显低于 B100, 燃烧明显提前结束) 导致 R20W1.5 的温度迅速下降, 并低于 B100, 直到燃烧结束。通过以上分析可知, 微乳化燃料含氧量使得

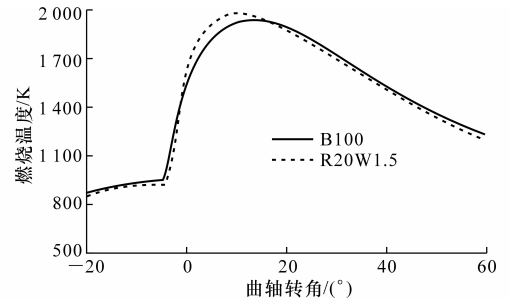
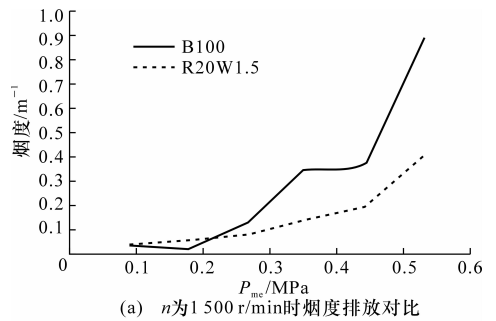
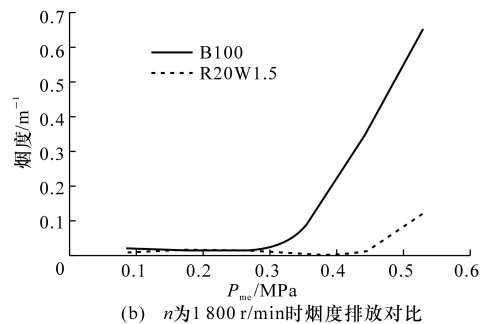


图 6  $P_{me}$  为 0.531 MPa,  $n$  为 1 500 r/min 时燃烧温度对比。放热更加集中且等容度更高, 也使得 R20W1.5 的最高燃烧温度高于生物柴油, 但是 R20W1.5 燃烧温度高于 B100 对应的曲轴转角区间很短, 在大部分区间内 R20W1.5 的燃烧温度低于 B100, 这就是 R20W1.5 微乳化燃料的  $NO_x$  排放降低的原因。

图 7 表示  $n$  为 1 500 r/min 和 1 800 r/min 时的烟度排放对比。



(a)  $n$  为 1 500 r/min 时烟度排放对比



(b)  $n$  为 1 800 r/min 时烟度排放对比

图 7 负荷特性的烟度排放对比

与 B100 相比, R20W1.5 的烟度明显降低, 乙醇加入使得燃烧更加集中; 少量水的加入产生微爆效应, 改善了雾化状况, 使得燃烧更完全, 从而降低了烟度排放。

## 3 结 语

(1) 在生物柴油中加入乙醇和水形成的微乳化燃料具有很好的稳定性, 长时间放置不分层, 可以在柴油机上直接使用, 并且具有良好的性能。

(2) 在相同工况下, 微乳化燃料的峰值压力、峰值压力升高率以及峰值放热率增加, 使燃烧放热更

集中,等容度更好,有助于有效效率的提高;柴油机燃用生物柴油-乙醇-水微乳化燃料时,NO<sub>x</sub>和烟度排放均明显降低,从而能够满足环境保护的要求。

### 参考文献:

### References:

- [1] 司利增,边耀璋,张春化.直喷式柴油机燃用脂肪酸甲酯的排放特性[J].安全与环境学报,2005,5(5):99-101.  
SI Li-zeng, BIAN Yao-zhang, ZHANG Chun-hua. Study on emission characteristics of direct injection diesel engine fueled with fatty acid methyl ester[J]. Journal of Safety and Environment, 2005, 5(5): 99-101.
- [2] 倪蓓.生物柴油欧美发展动态及在我国的前景[J].当代石油石化,2005,13(6):21-23.  
NI Bei. Development trend of bio-diesel in America and Europe and its foreground in our country[J]. Petroleum and Petrochemical Today, 2005, 13(6): 21-23.
- [3] 张恬,袁银南.生物柴油的环境效益与社会经济效益[J].能源环境保护,2005,19(2):16-19.  
ZHANG Tian, YUAN Yin-nan. Environmental and economic benefit of biodiesel[J]. Energy Environmental Protection, 2005, 19(2): 16-19.
- [4] 胡志远.车用生物柴油的应用与发展[J].汽车研究与开发,2004(11):27-31.  
HU Zhi-yuan. Application and development of biodiesel in vehicle[J]. Automobile Research & Development, 2004(11): 27-31.
- [5] Schumacher L G, Borgelt S C, Fosseen D, et al. Heavy-duty engine exhaust emission tests using methyl ester soybean oil/diesel fuel blends[J]. Bioresource Technology, 1996, 57(1): 31-36.
- [6] Jurgen B, Jurgen K, Hans U F, et al. Mutagenic and catatonic effects of exhaust particulate matter of biodiesel compared to fossil diesel fuel[J]. Mutation Research, 1998, 415(1/2): 13-23.
- [7] 陈昊,祁东辉,边耀璋.喷雾特性对生物柴油燃烧和排放特性的影响[J].交通运输工程学报,2009,9(1):40-43.  
CHEN Hao, QI Dong-hui, BIAN Yao-zhang. Influence of spray performance on combustion and emission characteristics of biodiesel[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2009, 9(1): 40-43.
- [8] 徐元浩,叶盛焱,陈忠祥,等.生物柴油的实用性研究[J].武汉理工大学学报,2005,27(5):90-93.  
XU Yuan-hao, YE Sheng-yan, CHEN Zhong-xiang, et al. The practical research of biodiesel[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2005, 27(5): 90-93.
- [9] 司利增,边耀璋,蔡永江.柴油机燃用生物柴油的特性[J].长安大学学报:自然科学版,2006,26(5):83-85,121.  
SI Li-zeng, BIAN Yao-zhang, CAI Yong-jiang. Performances of diesel engine fueled with bio-diesel [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(5): 83-85, 121.
- [10] 葛蕴珊,张世鹰,郝利君,等.生物柴油在柴油机中的应用研究[J].内燃机工程,2004,25(2):12-14.  
GE Yun-shan, ZHANG Shi-ying, HAO Li-jun, et al. Application investigation of bio-diesel on a diesel engine[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2004, 25(2): 12-14.
- [11] 韩恩山,康红欣,胡建修.生物柴油低温流动性及其降凝剂研究进展[J].粮食与油脂,2006(1):7-9.  
HAN En-shan, KANG Hong-xin, HU Jian-xiu. Study on the low-temperature fluidity and the progress of pour point depressant of bio-diesel [J]. Food and Grease, 2006(1): 7-9.
- [12] 卢碧林,周玲苹,毛治超.生物柴油的应用研究进展[J].生物技术,2005,15(3):95-97.  
LU Bi-lin, ZHOU Ling-ge, MAO Zhi-chao. Development of research and application of biodiesel[J]. Biotechnology, 2005, 15(3): 95-97.
- [13] 蔺建民,张永光,杨国勋,等.柴油机燃料调和用生物柴油国家标准的编制[J].石油炼制与化工,2007,38(3):27-32.  
LIN Jian-min, ZHANG Yong-guang, YANG Guo-xun, et al. Establishment of national standard of biodiesel blend stock for diesel engine fuels[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2007, 38(3): 27-32.
- [14] Paolo B, Ada G, Laura D B, et al. The prediction of biodiesel storage stability: proposal for a quick test [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2004, 106(12): 822-830.
- [15] Meher L C, Sagar D V, Naik S N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification: a review [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2006, 10(3): 248-268.
- [16] Semelsberger T A, Borup R L, Greene H L. Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel [J]. Journal of Power Sources, 2006, 156(2): 497-511.