

# 生物柴油在柴油机上的应用研究

李凯\*, 郭琼心, 张杰

(瑞丰新材料股份有限公司, 河南新乡 453700)

**摘要:**为验证生物柴油在柴油机上的适用性,在不改变柴油机内部结构的前提下,分别考察了 0 号车用柴油 D100 和生物柴油 BD20(BD100 与 D100 按质量比 1:4 调合而成的生物柴油)作为燃料时对柴油机润滑性能的影响,期间对润滑油各项指标进行了监控,并在试验结束后进行拆机检查。结果表明,润滑油中混入生物柴油 BD20 后不利于其抗磨性能和抗氧化性能,一方面表现在发动机运行过程中润滑油磨损金属元素含量和氧化值的增加,另一方面表现在拆机后活塞清洁度变差。因此,使用生物柴油有加大发动机磨损、严重时导致喷嘴堵塞的风险。

**关键词:**生物柴油;柴油机;适用性;润滑性能;拆机检查

中图分类号:TE667

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2024)S2-0375-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.S2.066

## Research on application of biodiesel in diesel engines

Li Kai\*, GUO Qiong-xin, ZHANG Jie

(Xinxiang Richful Lube Additive Co., Ltd., Xinxiang 453700, China)

**Abstract:**To verify the applicability of biodiesel in diesel engines, the influences of using D100 diesel and BD20 biodiesel (blending BD100 and D100 in a mass ratio of 1:4) as fuel on the lubrication performance of the diesel engines are investigated without changing their internal structure. During this experiment, various indicators of the lubricant are monitored, and the diesel engines are disassembled for inspection after this experiment. Results indicate that the addition of BD20 biodiesel in lubricant is not conducive to the wear resistance and antioxidant performance of lubricant. On one hand, it is manifested that both the content of worn metal elements in the lubricant and the oxidation value of the lubricant increase during the operation of the engines. On the other hand, it is observed that piston cleanliness deteriorates after disassembling the diesel engines. Therefore, the use of biodiesel may cause the engine to wear out, and lead to fuel nozzle blockage in severe cases.

**Key words:** biodiesel; diesel engine; applicability; lubrication performance; disassembly inspection

柴油机具有结构简单、热效率高、使用寿命长等一系列优点,因此被广泛应用于各行各业。但目前其燃烧介质还是以传统化石燃料为主,而全球石油储量一方面分布不均,导致资源匮乏地区不得不依赖进口,另一方面即将面临供应不足的窘境,据不完全统计,地球上尚未开采的石油已不足 1.5 万亿桶,可供人类使用不超过 80 年<sup>[1]</sup>。此外,柴油机还存在环保方面的劣势,其燃烧产生的大量废气和有害颗粒物会严重污染人类赖以生存的地球。因此,目前各国都在大力开发可替代传统化石燃料的可再生能源。

生物柴油是指使用动植物脂肪通过一系列化学反应制备出来的一种生物质燃料<sup>[2-4]</sup>,其理化性质接近于传统柴油,燃烧性能良好<sup>[5-6]</sup>。此外,生物柴油还具有原料来源广泛、可再生和环保等一些列优点<sup>[7-11]</sup>,被认为是一种可替代传统化石燃料的清洁能源,因此,在严格控制排放的欧洲地区和诸如远洋船舶等排放“重灾区”得到了广泛应用。

柴油机工作时,燃料会混入润滑油进而影响其润滑性能,基于此,本文研究了 0 号车用柴油和生物柴油 BD20 分别作为燃料时对柴油机润滑性能的影响,为生物柴油在柴油机上的应用提供一些参考。

## 1 试验

### 1.1 原料

本次试验所用润滑油为已通过 OEM 认证的 4010 船用中速筒状活塞柴油机油,其理化指标见表 1。

表 1 4010 船用中速筒状活塞柴油机油检测结果

项目	质量指标	检测结果	试验方法
运动黏度(100℃)/ (mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	12.5~ 16.3	14.60	ASTM D445, GB/T 265
碱值/(mg KOH·g <sup>-1</sup> )	报告	10.75	ASTM D2896, SH/T 0251
钙含量/%	报告	0.383	ASTM D5185, GB/T 17476
锌含量/%	报告	0.0614	ASTM D5185, GB/T 17476

收稿日期:2024-04-16;修回日期:2024-07-25

作者简介:李凯(1989-),男,硕士,工程师,主要研究方向为船用润滑油,通讯联系人,likai@sinorui Feng.com。

续表

项目	质量指标	检测结果	试验方法
磷含量/%	报告	0.0501	ASTM D5185, GB/T 17476
硫含量/%	报告	0.880	ASTM D5185, GB/T 17476
氮含量/%	报告	0.0096	ASTM D5762, SH/T 0704
硫酸盐灰分/%	报告	1.38	ASTM D874, GB/T 2433

本次试验所用燃料分别为 D100 和 BD20, 其中 D100 为 0 号车用柴油, BD20 为 BD100 与 D100 按质量比 1:4 调合而成的生物柴油, 其理化指标见表 2。

表 2 D100 和 BD20 检测结果

项目	D100	BD20	试验方法
运动黏度(20℃)/(mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	3.375	3.764	ASTM D445, GB/T 265
运动黏度(40℃)/(mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	2.206	2.484	ASTM D445, GB/T 265
密度(20℃)/(kg·m <sup>-3</sup> )	834.6	842.3	ASTMD4052, GB/T13377
闪点(闭口)/℃	76	82	ASTM D93, GB/T 261
铜片腐蚀(50℃, 3 h)/级	1a	1a	ASTM D130, GB/T 5096

### 1.2 设备与方案

本次试验所用设备为五菱 WL192FB 柴油机, 其规格参数如表 3 所示。发动机运行时间为 200 h, 在此期间每间隔 25 h 停机, 取 100 mL 润滑油油样进行检测, 主要检测项目有: 100℃ 运动黏度、酸值、碱值、磨损金属元素(铁、铝、铜)含量、氧化值、硝化值等。试验结束后拆解发动机, 取出评分件, 对活塞、连杆、缸套等进行检查、测量和评分。

表 3 发动机参数

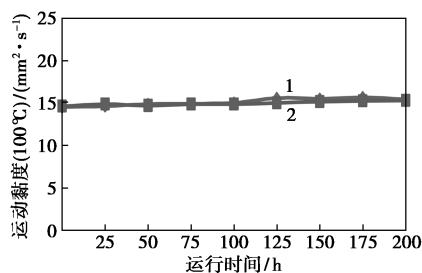
项目	数值
额定功率/kW	8.5
额定转速/(r·min <sup>-1</sup> )	3600
缸径×行程/mm	92×75
排量/cc	498
润滑方式	压力飞溅复合式
冷却方式	强制风冷

## 2 结果与讨论

### 2.1 润滑油理化指标变化

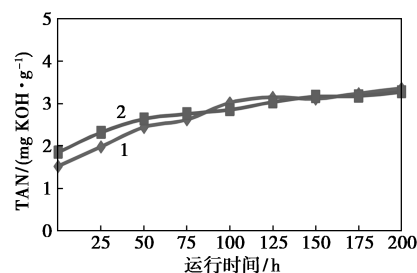
润滑油理化指标(100℃ 运动黏度、酸值、碱值)变化如图 1~图 3 所示。BD20 和 D100 两种燃料对应的润滑油黏度、酸值和碱值具有相同的变化规律, 即随着发动机运行时间的延长, 润滑油酸值逐渐增

加, 而黏度和碱值则保持稳定。



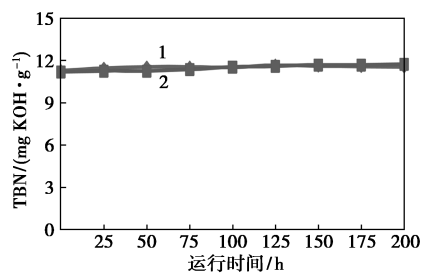
1—BD20; 2—D100

图 1 运动黏度(100℃)变化



1—BD20; 2—D100

图 2 酸值变化

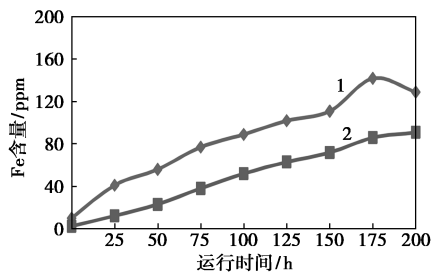


1—BD20; 2—D100

图 3 碱值变化

### 2.2 润滑油磨损金属元素含量变化

润滑油磨损金属元素(铁、铝、铜)含量变化如图 4~图 6 所示。BD20 和 D100 两种燃料对应的润滑油磨损金属元素含量均随着发动机运行时间的延长而呈现递增趋势, 其中 BD20 作为燃料后润滑油的铁含量明显高于 D100, 说明润滑油混入该燃料后



1—BD20; 2—D100

图 4 铁含量变化

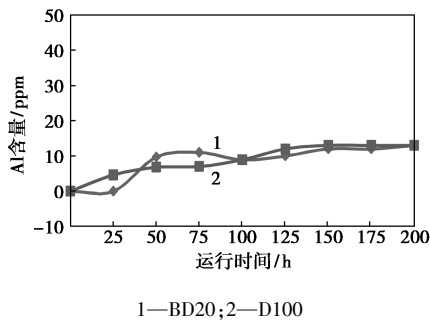


图5 铝含量变化

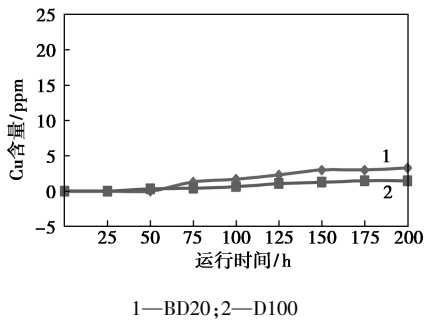


图6 铜含量变化

不利于其抗磨性能,有加大发动机活塞、缸套、阀系等部位磨损的风险。这主要是因为生物柴油的主要成分即脂肪酸甲酯中的不饱和键高温时易氧化,进而导致润滑油的摩擦学特性下降<sup>[12]</sup>。

### 2.3 润滑油氧化值和硝化值变化

润滑油氧化值和硝化值变化如图7、图8所示。BD20和D100两种燃料对应的润滑油氧化值和硝

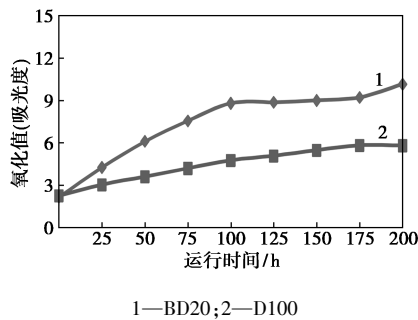


图7 氧化值变化

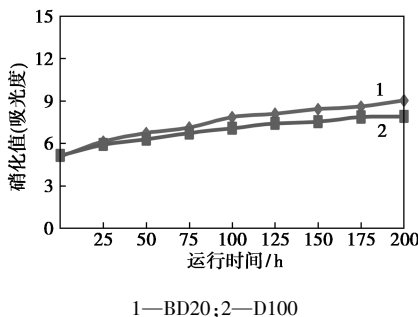


图8 硝化值变化

化值均随着发动机运行时间的延长而呈现递增趋势,其中BD20作为燃料后润滑油的氧化值明显高于D100,说明润滑油混入该燃料后不利于其抗氧化性能,严重时可能会导致喷油嘴堵塞等问题。这主要是因为生物柴油的主要成分即脂肪酸甲酯中的不饱和键高温时易氧化,进而导致润滑油胶质增多、清净性变差<sup>[13-15]</sup>。

### 2.4 拆机检查

拆机检查后活塞评分与磨损情况如表4所示。从中可以看到,BD20作为燃料后无论是活塞清净性还是各部件磨损情况均不如D100,说明润滑油混入该燃料后不利于其抗磨性能和抗氧化性能,有加大发动机磨损、严重时导致喷油嘴堵塞的风险。

表4 活塞评分与磨损情况

项目	D100	BD20
活塞评分	75	136
一环槽充填率/%	0	7.5
一环开口增大/mm	0.05	0.15
二环开口增大/mm	0.07	0.15
连杆瓦失重/mg	8.8	14.6
缸筒直径最大磨损量/mm	0.03	0.60

## 3 结论

本次试验考察0号车用柴油和生物柴油BD20分别作为燃料时对柴油机润滑性能的影响,从发动机测试结果可以看到,润滑油中混入生物柴油BD20后不利于其抗磨性能和抗氧化性能,一方面表现在发动机运行过程中润滑油磨损金属元素含量和氧化值的增加,另一方面表现在拆机后活塞清净性变差,因此,使用该燃料有加大发动机磨损、严重时导致喷油嘴堵塞的风险。但鉴于本次试验所限,目前已通过OEM认证的船用润滑油能否满足以生物柴油BD20为燃料的船舶润滑需求还需进一步通过行船试验来验证。

### 参考文献

- [1] Hou X, Hao P, Yuan S, et al. Study on bio-diesel production and emission of diesel filled with biodiesel [J]. Auto Mobile Science & Technology, 2008, (2): 26-29.
- [2] Souigny M, Graham L, Rideout G, et al. Heavy-duty diesel engine performance and comparative emission measurements for different biodiesel blends used in the montreal BIOBUS project [C]. SAE Fuels & Lubricants Meeting & Exhibition, France; 2004.

(下转第385页)

水平,推动石化产业迈向高端化、智能化、绿色化发展之路。加快建立绿色金融体系,通过绿色贷款、绿色债券、绿色基金、碳市场交易等多种绿色金融工具,获得资金支持,引导资本流向,推动技术创新,实现减排目标<sup>[20]</sup>。随着经济的快速发展,炼制加工规模逐年增加,原油重质化和劣质化程度提高,原料改善和加工工艺转型升级的需求迫切,落后设备亟需淘汰升级<sup>[21]</sup>。

### 参考文献

- [1] 于孟君.中国石化行业二氧化碳排放量因素分解及达峰路径研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2021.
  - [2] Brizga J, Feng K, Hubacek K. Drivers of greenhouse gas emissions in the Baltic States: A structural decomposition analysis[J]. *Ecological Economics*, 2014, 98: 22-28.
  - [3] Kim T J, Tromp N. Analysis of carbon emissions embodied in South Korea's international trade: Production-based and consumption-based perspectives [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 320: 128839.
  - [4] Tudor C. Predicting the evolution of CO<sub>2</sub> emissions in Bahrain with automated forecasting methods[J]. *Sustainability*, 2016, 8(9): 923.
  - [5] Rahman A, Hasan M M. Modeling and forecasting of carbon dioxide emissions in Bangladesh using Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) models[J]. *Open Journal of Statistics*, 2017, 7(4): 560-566.
  - [6] Thio E, Tan M, Li L, et al. The estimation of influencing factors for carbon emissions based on EKC hypothesis and STIRPAT model: Evidence from top 10 countries[J]. *Environ Dev Sustain*, 2022, 24: 11226-11259.
  - [7] Sen P, Roy M, Pal P. Application of ARIMA for forecasting energy consumption and GHG emission; A case study of an Indian pig iron manufacturing organization[J]. *Energy*, 2016, 116: 1031-1038.
  - [8] 张巍.基于 STIRPAT 模型的陕西省工业碳排放量预测和情景分析[J]. *可再生能源*, 2017, (5): 143-149.
  - [9] 赵金辉,李景顺,王潘乐,等.基于 Lasso-BP 神经网络模型的河南省碳达峰路径研究[J]. *环境工程*, 2022, 40(12): 151-164.
  - [10] 胡振,龚薛,刘华.基于 BP 模型的西部城市家庭消费碳排放预测研究——以西安市为例[J]. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(7): 82-89.
  - [11] 高金贺,郑宝珠,周伟吴,等.基于 GA-SVR 的城市交通运输碳排放预测研究[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2022, 45(3): 269-274.
  - [12] 王文佳,潘昊,王国刚.基于 GWO-LSTM 模型的辽宁省工业碳排放预测及影响因素研究[J]. *环境科学与管理*, 2024, 49(1): 28-33.
  - [13] 张新生,张玥.基于 Lasso-PSO-BP 神经网络的腐蚀管道失效压力的预测[J]. *材料保护*, 2020, 53(4): 46-52.
  - [14] Sahil D, Virendra P V. GA based KELM optimization for ECG classification[J]. *Procedia Computer Science*, 2020, (167): 580-588.
  - [15] 张新生,魏志臻,陈章政,等.基于 LASSO-GWO-KELM 的工业碳排放预测方法研究[J]. *环境工程*, 2023, 41(10): 141-149.
  - [16] Ehrlich P, Holdren J. Impact of population growth [J]. *Science*, 1971, 171(3977): 1212-1217.
  - [17] Waggoner P E, Ausubel J H. A framework for sustainability science: A renovated IPAT identity [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2002, 99(12): 7860-7865.
  - [18] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImpACT: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. *Ecological Economics*, 2003, 46(3): 351-365.
  - [19] 徐维超.相关系数研究综述[J]. *广东工业大学学报*, 2012, 29(3): 12-17.
  - [20] 张男.绿色金融助力石油石化企业绿色低碳发展[J]. *中外能源*, 2023, 28(10): 1-6.
  - [21] 韩恒文,韩伟,程薇.石化行业 CO<sub>2</sub> 排放核算与减排技术进展[J]. *石油化工*, 2023, 52(12): 1754-1764. ■
- .....
- (上接第 377 页)
- [3] Sheng M, Guo D, Zhang D. Study on preparation of bio-diesel with soybean oil[J]. *China Oil and Fats*, 2002, 27(1): 70-72.
  - [4] Li J, Wang Z, Liu B. An experimental study on the emission characteristics of bio-diesel fuel [J]. *Automotive Engineering*, 2008, 130(7): 585-587, 596.
  - [5] 陈韬,谢辉,吴志新,等.车用柴油机燃用生物柴油的排放特性[J]. *环境工程学报*, 2017, 11(11): 5972-5977.
  - [6] 李婷.车用生物柴油的应用与发展趋向分析[J]. *当代化工研究*, 2016, (10): 87-88.
  - [7] Mohd N C W, Noor M M, Mamat R. Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications; A review[J]. *Renew Sust Energ Rev*, 2018, 94: 127-142.
  - [8] Chang Y C, Jia M, Li Y P, et al. Development of a skeletal oxidation mechanism for biodiesel surrogate [J]. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2015, 35(3): 3037-3044.
  - [9] Moazeni F, Chen Y C, Zhang G. Enzymatic transesterification for biodiesel production from used cooking oil: A review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 216: 117-128.
  - [10] Anwar M, Rasul M G, Ashwath N. A pragmatic and critical analysis of engine emissions for biodiesel blended fuels [J]. *Fuel*, 2020, 270: 117513.
  - [11] 吴刚,江国和,杨智远,等.船用柴油机燃用生物柴油排放与消烟机理[J]. *哈尔滨工程大学学报*, 2019, 40(3): 468-476.
  - [12] 王学春,方建华,陈波水,等.生物柴油中不饱和脂肪酸甲酯对内燃机油摩擦学性能的影响[J]. *润滑与密封*, 2015, 40(9): 78-82.
  - [13] Bannister C D, Chuck C J, Hawley J G, et al. Factors affecting the decomposition of biodiesel under simulated engine sump oil conditions[J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2010, 224(7): 927-940.
  - [14] 牟明仁,郭雅琳,王鹏,等.出口车用柴油与进口生物燃料油质量对比分析[J]. *石化技术*, 2014, 21(2): 49-53.
  - [15] 吴江,陈波水,方建华,等.生物柴油发动机润滑油氧化衰变特性模拟研究[J]. *车用发动机*, 2008, (6): 85-88. ■