

某柴油机机油过早老化问题分析及改进

许晓颖,刘近报*,周峰,于佳,田红霞,李志杰

潍柴动力股份有限公司,山东 潍坊 261061

摘要:针对某柴油机性能开发过程中出现的机油过早老化现象,进行试验与燃烧仿真分析,机油过早老化的原因因为油束落点异常使机油内含碳量增加,造成大颗粒物超出限值。采用增大柴油机压缩比、减小喷油器油束等措施进行改进,试验结果表明:优化改进后的柴油机落点异常的油束和机油中的颗粒物大幅减少,解决了机油老化问题。

关键词:柴油机;机油老化;燃烧优化

中图分类号:TK423.8

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2022)03-0113-04

引用格式:许晓颖,刘近报,周峰,等.某柴油机机油过早老化问题分析及改进[J].内燃机与动力装置,2022,39(3):113-116.

XU Xiaoying, LIU Jinbao, ZHOU Feng, et al. Analysis of premature aging of diesel engine oil and its improvement[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2022,39(3):113-116.

0 引言

为保证柴油机各摩擦副之间正常运行,需在摩擦副表面供给一定压力的润滑油,对摩擦副进行冷却与润滑,形成润滑油膜,减小摩擦阻力及磨损,保证发动机正常运行,延长发动机使用寿命。

机油与高温的金属摩擦副零件及空气接触,机油温度升高,容易氧化变质^[1-2]。由活塞环缝隙窜入曲轴箱内的高温燃烧废气及各种金属磨屑、沉积物等造成机油严重污染^[3-4]。此外,冬季从低温启动到发动机高温、高负荷运转,机油温度波动可达100℃以上^[5-7],工作温度变化范围过大,也会加速机油老化。

某柴油机在全速、全负荷耐久试验中出现机油老化快的现象,主要表现为机油运动黏度快速增加,碳含量短时间内超出正常范围。本文中通过对影响机油老化的因素进行排查,确定机油老化快的原因并制定改进措施。

1 柴油机问题描述

某发电用水冷、4冲程、增压中冷,大功率直喷柴油机,机油更换周期为500h,柴油机主要技术参数如表1所示。

表1 柴油机主要技术参数

缸径/mm	行程/mm	平均有效压力/MPa	升功率/(kW·L ⁻¹)	额定功率/kW	额定转速/(r·min ⁻¹)
127	165	2.46	30.7	385	1500

收稿日期:2021-12-13

基金项目:国家重点研发计划课题(2018YFB2000901)

第一作者简介:许晓颖(1983—),女,山东潍坊人,工程师,主要研究方向为柴油机性能开发,E-mail:xuxiaoy@weichai.com。

*通信作者简介:刘近报(1989—),男,山东邹城人,工学硕士,助理工程师,主要研究方向为矿用自卸车应用匹配,E-mail:liujinbao@weichai.com。

柴油机在测试台架上进行全速、全负荷耐久试验,运行至 61 h 时,检测柴油机机油运动黏度为 $43.2 \text{ mm}^2/\text{s}$,超过了文献[8]中黏度为 $12.5 \sim 16.3 \text{ mm}^2/\text{s}$ 的要求;机油中直径大于 $5 \mu\text{m}$ 的颗粒数量(以下简称大颗粒值)为 142.1,超出一般机油中大颗粒值不超过 100 的规定。柴油机运行至 96 h 时,柴油机机油运动黏度升高至 $151.2 \text{ mm}^2/\text{s}$,机油中大颗粒值为 265,远超限值。

将机油由 CD-4 15W-40 更换为 CF-4 15W-40 继续进行耐久试验,柴油机运行至 198 h 时机油中大颗粒值再次超标,拆检摇臂罩发现机油变黑且摇臂上有较多油泥,此时机油运动黏度为 $158.73 \text{ mm}^2/\text{s}$,碳烟质量分数为 4.95%,超出一般机油中碳烟质量分数不高于 2.5% 的规定。试验过程中检查柴油机运行状态,各种运转数据均显示正常。试验过程中监测机油中大颗粒物值为 287,超出限值,初步判断机油过早老化是由机油含碳量增加造成的。

2 问题分析

在耐久试验过程中,机油使用时间不足 100 h 就出现老化现象。除了正常老化外,原因可能还包括:机油牌号不对、部分区域机油温度过高、燃烧室生成物^[9]等。为了验证主要原因,进行排除试验。

2.1 更换机油牌号

选择 CD、CF、CI 3 种牌号的机油进行耐久试验,标号中的第 2 个字母表示机油等级,排列字母越往后油品质量等级越高。3 种牌号机油运动黏度随运行时间变化曲线如图 1 所示。

由图 1 可知:3 种牌号的机油运动黏度随运行时间变化差别较大;CD、CF 级机油运动黏度升高速率很快,尤其是 CD 机油,在运行时间为 40 h 时,黏度已经达到 $26.4 \text{ mm}^2/\text{s}$,超出限值;CI 机油运动黏度变化不大;CF 级机油运动黏度变化居于 CD 和 CI 之间。机油级别越高,对发动机的润滑和清洁效果越好,颗粒物的容纳能力越强。

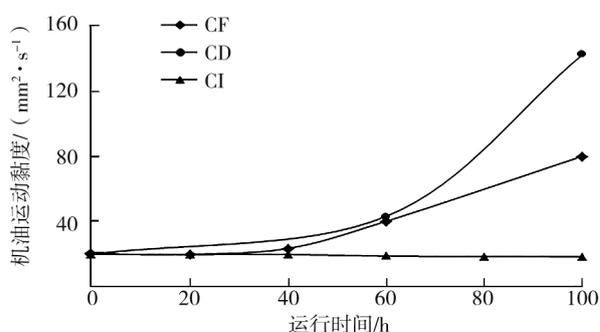


图 1 3 种牌号机油运动黏度随运行时间变化曲线

2.2 不同区域机油温度

柴油机机油在高温、高压下工作时,抗氧化稳定性变差,热分解、氧化和聚合的过程加剧^[10-12]。柴油机运行时,测试不同区域机油温度:出水温度为 $95 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右时,主油道最高机油温度为 $105 \text{ }^\circ\text{C}$,油底壳机油温度为 $113 \text{ }^\circ\text{C}$,满足使用要求;增压器回油温度为 $120 \text{ }^\circ\text{C}$,达到温度上限。

2.3 燃烧室生成物

发动机燃料在燃烧过程中产生各种氧化物、烃类、烟灰等物质,随着活塞环窜气进入曲轴箱发生化学变化产生固体漆膜及烟泥,污染机油造成机油老化及零部件磨损^[13-14]。分析柴油机运行数据,烟度为 $0.29 \sim 0.85 \text{ FSN}$,最低燃油消耗率为 $195 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$,最高排气温度为 $536 \text{ }^\circ\text{C}$,标定工况过量空气系数为 1.61,空燃比为 23.04,均在正常范围内,进行拆机检查及燃烧分析计算排查故障原因。

2.3.1 拆机检查

对柴油机进行拆检,发现各缸活塞顶部均有不同程度的碳烟,且第 3、5、6 缸活塞顶部及气缸套壁面碳烟明显。

清理活塞顶部后观察油束落点及活塞环岸变色情况,发现油束落点痕迹明显,靠近活塞外圆且存在变色不均匀现象;活塞火力岸与油束落点对应处有变色现象,说明数量较多的柴油喷射到活塞顶面,在顶面燃烧,造成局部高温。

2.3.2 燃烧分析计算

燃烧系统确定的前提下,喷油油束在活塞顶的落点与喷油正时有密切关系,若喷油正时提前,油束距离活塞顶面稍远,滞燃期较长,着火前形成更多的可燃混合气,燃烧充分。若喷油正时滞后,活塞上

行,油束距离活塞顶面较近,容易造成燃烧不充分。性能开发时确定柴油机喷油提前角对应的曲轴转角为 14° ,而实际喷油提前角对应的曲轴转角约为 5° ,不考虑避阀坑的深度,进行燃烧过程仿真分析,如图2所示。

由图2可知,由于喷油正时滞后,燃油刚好喷在活塞顶部,部分燃油反弹溅射在气缸壁上,造成缸套壁面附近形成当量比为1左右的混合气体。由于缸套壁面温度低,混合气体遇冷冷凝,形成液态燃油附着于壁面,低温的缸套壁面不利于燃油的蒸发雾化,导致柴油机运行过程中缸套壁面一直存在未雾化的液态燃油,这些燃油吸附混合气中的碳烟,在活塞环刮油过程中进入曲轴箱内,导致机油中的含碳量超标,黏度变大,摩擦副润滑不良,磨损加剧,机油中大颗粒值增加并超出限值。

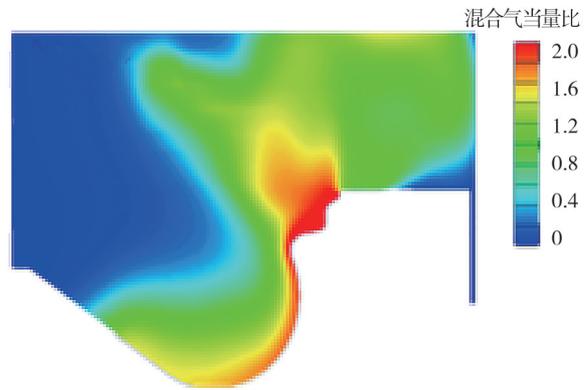


图2 喷油提前角曲轴转角 5° 时燃烧过程仿真分析

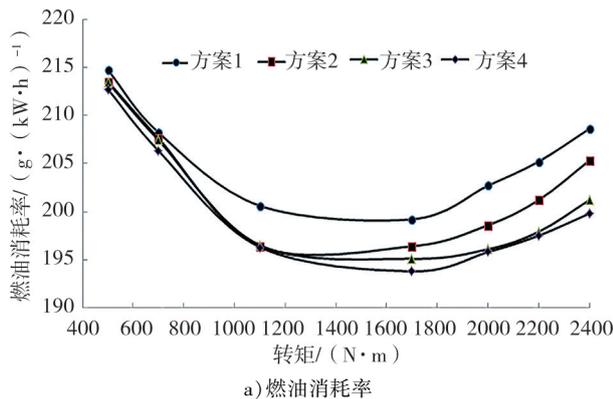
3 解决措施及验证

柴油机机油内大颗粒物值过高的主要原因是油束落点异常导致燃烧过程中产生颗粒物,对柴油机燃烧进行优化:1)燃烧室容积增加7.6%,压缩比由16提高到17,缩短喷油持续期;2)活塞喉口直径增加12.3 mm;3)减小喷油器油束夹角,避免油束喷射到活塞顶面上。

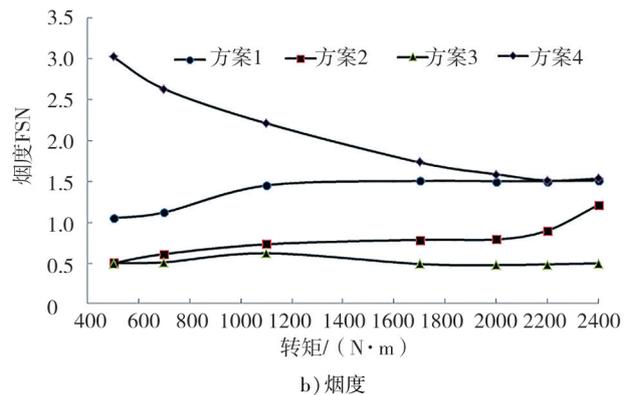
使用优化后的柴油机,采用孔数均为8、喷嘴结构相同、体积流量不同、喷油器油束夹角不同的4种喷油器,具体参数如表2所示,进行标定转速下负荷特性试验,记为方案1~4。对比不同转矩下的燃油消耗率、烟度,试验结果如图3所示。

表2 喷油器参数

方案	体积流量/($\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$)	油束夹角/($^\circ$)
1	2600	150
2	2600	147
3	2600	144
4	2800	144



a) 燃油消耗率



b) 烟度

图3 4种方案标定转速负荷特性试验

由图3a)可知:4种方案的燃油消耗率随转矩的变化趋势基本一致,转矩在 $800\text{ N}\cdot\text{m}$ 以下时,燃油消耗率差别不大,但转矩在 $800\text{ N}\cdot\text{m}$ 以上时差别较大;方案1油耗最高,方案2次之,方案3、4的油耗较低。由此可见:油束夹角对油耗的影响较大,夹角较小时,大部分柴油喷在燃烧室凹坑内,有利于降低油耗。由图3b)可知:方案4的烟度排放最高,方案3的最低。方案4的体积流量大于方案3,大流量造成局部缺氧,油量增加,烟度排放高。经以上分析,应减小喷油器油束夹角,同时控制喷油体积流量。

选择方案3对应的喷油器,油束夹角为 144° ,体积流量为 $2600\text{ mL}/\text{min}$,柴油机优化后进行300 h耐久试验,机油运动黏度随运行时间变化曲线如图4所示。

由图4可知:300 h耐久后试验机油运动黏度为 $16.21 \text{ mm}^2/\text{s}$,试验测得碳烟的质量分数为0.78%,机油运动黏度与碳烟质量分数均在规定范围内。机油含碳量未出现异常,机油老化问题得到解决。

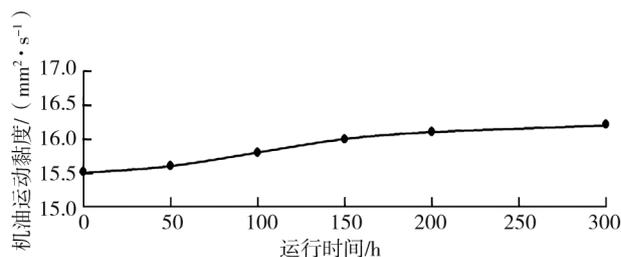


图4 耐久试验机油运动黏度随时间变化曲线

4 结论

- 1) 机油级别越高,高温状态下发动机润滑能力越强。
- 2) 控制喷油体积流量,可有效控制烟度排放。
- 3) 对于本机型发动机,减小喷油器油束夹角,可改变油束落点,减少碳烟生成。
- 4) 柴油机性能开发过程中,应于产品开发前增加燃烧分析计算环节,有利于缩短产品开发周期,保证产品可靠性。

参考文献:

- [1] 顾磊,杜巍,孙亚东. 机油温度对多缸柴油机润滑系统性能影响的试验研究[J]. 车用发动机, 2021(4):29-35.
- [2] 吴清泉,赵晓东,马岩,等. 内燃机车4代机油的早期老化问题[J]. 内燃机车, 2003(6):37-39.
- [3] 高常明,朱建荣,陈静,等. 柴油机机油老化问题研究[J]. 内燃机与动力装置, 2019,36(5):10-14.
- [4] 陈钊,兰琳,陈群. 柴油机润滑系统故障分析及预防措施[J]. 煤矿机械, 2007,28(9):196-198.
- [5] 彭高宏. 汽车发动机启动预润滑技术研究综述[J]. 公路与汽运, 2015(1):19-23.
- [6] 安鹏. 汽车发动机润滑油的粘温性能研究[D]. 郑州:华北水利水电大学, 2019.
- [7] 苏愷,张瑞晓. 机油运动黏度对发动机运转的影响[J]. 科技创新导报, 2009(28):54.
- [8] 中国石油化工有限公司. 汽油机油:GB 11121—2006[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [9] 邓广勇,李纯录,庞智勇. 发动机燃烧室生成物及其对机油老化的影响润滑油[J]. 润滑油, 2010,25(5):61-64.
- [10] 蒙留记,卢小虎,贾中刚. 润滑油温度对发动机的影响[J]. 润滑与密封, 2003(1):84-85.
- [11] 白崇慧,黄幼林,裴庆万. 浅析LR6A3Z-22 工程机械用柴油机油温偏高的解决方案[J]. 内燃机, 2013(1):57-59.
- [12] 李明海,李晓伟,牟恕宽. 机油温度对主轴颈轴承润滑性能的影响[J]. 内燃机车, 2009(11):5-8.
- [13] 闫鹏斌. 燃油喷射参数对共轨柴油机排放性能的影响规律研究[D]. 沈阳:辽宁工业大学, 2016.
- [14] 侯玉晶. 高压喷射对轻型柴油机喷雾、燃烧及排放的影响[D]. 长春:吉林大学, 2016.

Analysis of premature aging of diesel engine oil and its improvement

XU Xiaoying, LIU Jinbao*, ZHOU Feng, YU Jia, TIAN Hongxia, LI Zhijie

Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: Aiming at the premature aging of diesel engine oil during the performance development process, the test and combustion simulation analysis are carried out to find out the cause of premature aging of the engine oil. The result shows that the abnormal falling position of oil droplet increases the carbon content in oil and causes the large particles to exceed the limit, which is the cause of oil premature aging. By increasing the compression ratio of diesel engine and decreasing the angle of fuel spray, it is found that the abnormal falling point of fuel spray and the particles in the fuel spray are greatly reduced, the problem of oil aging is solved.

Keywords: diesel engine; oil aging; combustion optimization

(责任编辑:郎伟锋)