

柴油机油高温清净性台架的建立及研究

王争胜¹, 张遂心¹, 房国玺¹, 冯振文¹, 张大华¹, 苟春江¹

(1. 中国石油天然气股份有限公司昆仑润滑检测评定中心, 兰州 730030)

Establishment and research of high temperature cleaning properties of diesel engine oil

Wang Zhengsheng¹, Zhang Suixin¹, Fang Guoxi¹, Feng Zhenwen¹, Zhang Dahua¹, Gou Chunjiang¹

(1. PetroChina KunLun Lubricant Qualification Test Center, Lanzhou Gansu 730030, China)

Abstract: The ASTM D7549-21 test method is modified to study and adjust a domestic fuel instead of the recommended fuel in the paper, it solve the bottleneck of long-term dependence on imports. At the same time, the independent establishment of diesel engine oil performance evaluation Caterpillar C13 method has good reproducibility and differentiation. Meet the evaluation of diesel engine oil performance Caterpillar C13 test requirements, through the evaluation of piston deposits, 2-ring deposits, piston ring bonding and fuel consumption to determine the engine oil performance, used to evaluate diesel engine oil high temperature cleaning performance.

摘要: 文章修改采用 ASTM D7549-21 试验方法, 研究调制了一种国产燃油代替了方法推荐燃油。解决长期依赖进口的瓶颈, 同时自主建立柴油机油性能的评定 Caterpillar C13 法, 具有良好的再现性和区分性, 满足柴油机油性能的评定 Caterpillar C13 法试验要求, 通过评价活塞沉积物、2 环沉积物、活塞环粘结以及机油耗来确定发动机油性能, 用于评价柴油机油高温清净性能。

关键词: 燃料; 柴油机油; 高温清净性; 试验方法;

Key words: fuel; diesel engine oil; high temperature cleanliness; test method

中图分类号: TK4***文献标识码: A

0 概述

随着排放法规越发严苛和市场需求的不不断变化、发动机设计、润滑油规格及市场需求的变化而不断的发展更新, 柴油机所面临的高热负荷强度、更低的 NO_x 排放、机油碱保持性下降等问题, 所有这些都不断地对油品高温清净性提出更高的需求^[1-2]。发动机台架试验是评定发动机油性能的重要手段, 对发动机油规格的建立和发展起到了决定性的作用。如果没有标准的发动机油台架试验方法, 就不可能建立规范统一的发动机油规格, 因此, 随着发动机

油的不断升级, 新规格要求发动机油通过的台架试验数量也越来越多。

为了更好地评价柴油机油发动机活塞的高温清净性能和机油耗的完整评定体系, 在美国石油学会 (API) 的柴油机油规格中引入 Caterpillar C13 试验程序 (Standard Test Method for Evaluation of Heavy-Duty Engine Oils under High Output Conditionst, 简称 Cat C13. 全文同)。本文修改采用美国试验与材料协会 ASTM D7549-21 《在全功率输出条件下评定重负荷柴油机油的标准试验方法—Cat C13 试验程序》, 建立《柴油机油性能的评定

收稿日期: 2023-9-15

作者简介: 王争胜 (1982~), 男, 本科, 主要研究方向为台架评定技术, E-mail:wangzhengsheng_rhy@petrochina.com.cn;

卡特皮勒 C13 法》。柴油机油高温清净性台架的建立是发动机在稳态、额定功率的条件下运行产生过量活塞沉积物或油耗量，通过评价活塞沉积物、2 环沉积物、活塞环粘结以及机油耗来确定发动机油性能，很好的满足了柴油机润滑油适应日趋严格的排放标准和延长换油周期的发展趋势。

1 Cat C13 的试验方法介绍

试验发动机为 2004 款 320kW 卡特彼勒 C13 卡车用重负荷发动机，发动机为电控、双涡轮增压、中冷、直喷、直列六缸柴油机，凸轮轴位于机体内，每缸 4 气阀配置。发动机采用 Caterpillar 公司的 ACERT 技术，每缸多点喷射以及执行器控制进气阀。带有电子控制燃油计量，喷油正时以及进气阀驱动正时，满足 2004 年美国环境保护局（EPA）要求。

Cat C13 用于评价发动机油关于活塞沉积物形成、活塞环粘结和机油耗的性能评价，评价 API CJ-4、CK-4 级别及以上规格的柴油机油，试验时间 500 小时（ASTM D7549），试验后拆检发动机，取出活塞，活塞环，通过对发动机活塞和活塞环的沉积物，机油消耗的情况综合评价柴油机油的性能；试验所用的发动机参数见表 1。

表 1 试验发动机参数

发动机	Cat C13
缸径×行程/mm	137.2×171.4
排量/L	13
气缸数	6
气门数	24
压缩比	18:1
最大输出功率/kW	320
最大扭矩/kW	1760
燃油供给方式	多点电控燃油喷射
机油量/kg	33

1.1 Cat C13 台架组成

Cat C13 台架由 UDACS 控制系统，发动机，冷却系统、机油外部循环与机油外部热交换系统，燃油系统、进、排气系统和测功机等组成，UDACS 控制系统通过程序编制可以精确的控制发动机的转速和、扭矩、燃油流量、温度和压力等试验参数。

1.2 Cat C13 的燃料

Cat C13 按照 ASTM D7549 方法要求采用 Chevron

Philips 超低硫柴油（简称专用燃油，下同），如采用该燃油需要进口大量燃料油，不符合我国国情。故采用国产燃油代替美国推荐燃油。根据 ASTM D7549 规定的燃油规格，在国内专门调制了 Cat C13 燃油（简称调配燃油，下同）；专用燃料与调配燃料的主要指标分析结果见表 2。

表 2 专用燃料与调配燃料分析结果对比

项目	专用柴油 质量指标	调配柴油 典型数值	试验 方法
氧化安定性（以总不溶物含量计）/(mg/100 ml) 不大于	1.5	0.1	SH/T 0175
硫含量（质量分数）/ mg/kg	7~15	10	GB/T 0689
密度（20℃）/kg/m ³	800~845	824.2	SH/T 0604
组成（体积分数）/%			
芳烃含量	26 ~31.5	30	GB/T 11132
烯烃含量	报告	1.6	
饱和烃含量	报告	68.4	
十六烷指数	报告	49.1	GB/T 11139
十六烷值	43~47	46.9	GB/T 386
铜片腐蚀（50℃，3h）/级不大于	1	1b	GB/T 5096
闪点/℃ 不低于	54	55	GB/T 261
倾点/℃ 不大于	-18	-18	GB/T 3535
10%蒸发物残炭（质量分数）/% 不大于	0.35	0.006	GB/T 268
水和沉积物(体积分数)/% 不大于	0.05	无	SH/T 0064
灰分（质量分数）/% 不大于	0.005	0.001	GB/T 508
运动粘度（40℃）/(mm ² /s)	2.0~2.6	2.5	GB/T 265
总酸值，不大于	0.05	0.04	GB/T 7304
强酸值，最大	0.00	0.00	GB/T 7304
馏程/℃			GB/T 6536
90%回收温度	293--332	323	

由表 2 可见，调配燃料的主要指标全部在专用燃料的范围之内，无论是元素含量、族组成、还是理化性能，均达到 Chevron Philips 超低硫专用柴油

的指标，解决了完全依赖进口的瓶颈问题，进一步推动了柴油机油高温清净性台架的建立。

1.3 机油耗计算

根据下列计算公式计算发动机的机油耗：

$$\Delta OCg/h = [(OC450 + OC500) / 2] - [(OC100 + OC150) / 2] \dots\dots\dots (1)$$

其中：

OC100——试验第50h~100h的50小时运行周期平均机油消耗，单位为克每小时（g/h）；

OC150——试验第10h~150h的50小时运行周期内平均机油消耗，单位为克每小时（g/h）；

OC450——试验第400h~450h的50小时运行周期内平均机油消耗，单位为克每小时（g/h）；

OC500——试验第450h~500h的50小时运行周期内平均机油消耗，单位为克每小时（g/h）。

2 试验结果与分析

在Cat C13台架使用前，要用参比油（代号TMC 831-1）对Cat C13台架进行整机校验，一般是通过对参比油的统计数据来控制Cat C13台架试验系统的苛刻度水平，参比油 Cat C13台架试验的具体操作条件见表3。

表3 Cat C13台架试验操作条件

参数	试验指标要求
正式试验时间/h	500
转速/RPM	1800±5
功率/kW	记录
扭矩/(N·m)	记录
燃油耗/(g/min)	1200±5
进气歧管温度/℃	40±3
窜气量/(L/min)	记录
冷却液出口温度/℃	80±2
冷却液入口温度/℃	记录
冷却液温差/℃	记录
燃油温度/℃	40±2
机油主油道温度/℃	98±1
进气温度/℃	25±2
进气歧管压力（表压）/kPa	275~285

排气温度，℃	记录
曲轴箱压力，kPa	记录
进气压力（绝压），kPa	93±1.5
中冷器压差，kPa	15（最大）
湿度，g/kg	记录
燃油压力，kPa	记录
机油主油道压力，kPa	记录
机油滤清器压差，kPa	记录
冷却液系统压力，kPa	99~107
排气背压限压，kPa	6±0.5

2. 1Cat C13 参比油再现性验证试验

用参比油 REO 831-1 在兰州建立的 Cat C13 台架上采用国产调配燃油进行了试验，试验结果及标准油通过指标，见表4。

表4 标准油通过指标和试验结果

油样名称	试验次数	试验编号	通过指标
TMC 标准油通过指标	/	/	顶环槽积碳： 46.02±11.8 顶环台积碳： 21.78±15.78 2环平均积碳： 10.21-31.91
兰州标准油试验结果	1	REO 831-1	顶环槽积碳：40.5 顶环台积碳：11.04 2环平均积碳：17 机油消耗差值：28.2

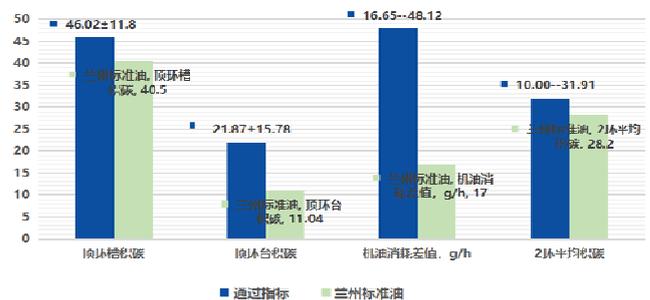


图1 参比油通过指标与兰州标准油试验结果对比

由表4、图1可见，美国TMC试验监控中心实验室和兰州的参比油REO 831-1的试验结果均在REO 831-1参比油标机要求范围内，并且兰州试验结果经美国西南研究院确认试验结果在再现性要求范围内。

说明兰州评定室建立的柴油机油性能评定法 C13 台架满足 ASTM D7549-21 试验方法要求,采用专门调制的国产燃油与用 ASTM 标准燃油的试验结果相当,试验结果有效,试验结果同时也得到美国西南研究院的确认认可。

2.2 应用性台架试验

台架调试标定合格后用昆仑 1 号油样与昆仑 2 号油样两种油品进行了应用性验证试验,相关油品信息见表 5。试验过程中设备运转平稳,各系统工作正常,说明本标准在使用过程中能满足重负荷柴油机油的评定要求,试验结果如表 5 所示。

表 5 试验油样对比

油样名称	抗氧化性能	清净性
市售 1 号油样	差	差
昆仑 2 号油样	优	优

表 6 不同油品活塞沉积物评分

油样名称	顶环槽积碳	顶环台积碳	2 环平均积碳	机油消耗差值/(g/h)
市售 1 号油样	70.79	28.30	12.92	35.4
优点评结果	-762.86	334	153.53	-220
总优点评分结果	-459.3			
昆仑 2 号油样	46.33	22.54	13.96	21.6
优点评结果	285.86	449.2	149.29	368
总优点评分结果	1250.4			

根据表 6 中的 2 次试验结果看,符合试验结果预期,1 号油样和 2 号油样符合试验结果要求,表明本试验台架有较好的区分性。

3 结论

(1) 采用国产燃油代替美国推荐燃油,国内自主调配的燃料,均达到 Chevron Philips 超低硫专用柴油的指标,解决了完全依赖进口的瓶颈问题,进一步推动了柴油机油高温清净性台架的建立。

(2) Cat C13 台架标准油试验的再现性与应用型试验的区分性表明,用自己调配的燃料建立的 Cat C13 台架可以用于评价柴油机油活塞沉积物、2 环

沉积物、活塞环粘结以及机来确定发动机油性能。

参考文献:

- [1] McGeehan JA, Moritz J, Kennedy S, et al. Diesel oil category for both legacy engines and Low emission engines using Diesel particulate filter. SAE papers 2006:3439
- [2] 杨国峰, 谢惊春, 冯振文, 等柴油机油滚子随动件磨损试验建立[J]. 合成润滑材料, 2014. 41 (04): 5-7.