

# 某欧系轻负荷商用车柴油机油的开发及应用

刘颖<sup>1</sup>, 邵腾飞<sup>1</sup>

(1. 中国石油大连润滑油研究开发中心, 辽宁 大连 116032)

## Development and Application of Diesel Engine Oil for a European Light Duty Commercial Vehicle

LIU Ying<sup>1</sup>, SHAO Teng-fei<sup>1</sup>

(1. PetroChina Dalian Lubricating Oil R&D Institute, Dalian 116032, China)

**Abstract:** The article discusses the important role that the ACEA-2021 light-duty engine oil sequence plays in improving lubricant performance as quality standards for engine oil continue to develop. The article introduces a diesel engine-specific oil that has been tested on engine durability while meeting the C2 5W-30 specification. The experimental results demonstrate that this European light-duty commercial vehicle diesel engine oil not only meets the relevant grade level requirements, but also has exceptional anti-oxidation performance at high temperatures.

**摘要:** 随着发动机油的质量规格的发展, ACEA-2021 轻型发动机机油序列在不断改善润滑油性能的过程中扮演着非常重要的角色, 文章介绍了一种柴油发动机专用油在满足 C2 5W-30 的基础上, 进行耐久性试验上的应用研究, 实验结果表明: 这款欧系轻负荷商用车柴油机油除了满足相应等级水平的要求, 高温下抗氧化性能极为优越。

**关键词:** 质量规格; C2; 柴油机油; 试验; 应用研究

**Key words:** quality specifications; C2; diesel engine oil; test; application research

中图分类号: TE626.32 文献标识码: A

### 0 概述

随着欧洲汽车工业的快速发展, 一直把汽车的燃油经济性放在首位, 同时兼顾动力性和排放性能。为了节能, 欧洲小轿车中柴油车的比例很大, 由于柴油发动机的工作条件比汽油机更加恶劣和苛刻, 柴油发动机的燃烧室大, 有的还有预燃烧室, 因此高温热区面积大, 润滑油受热量便会增多<sup>[1]</sup>。所以柴机油需要具备更好的高温抗氧化能力。由于柴油发动机工作环境比较恶劣, 加上各零部件运动时的剧烈摩擦, 因此柴机油应当具

ACEA 轻负荷车辆发动机机油标准分高灰和中低灰两个版本, 就是大家都熟悉的 A/B 系列和 C 系列。ACEA C 系列适用于带有后处理系统的汽油机和轻负荷柴油机油, 包括 C2、C3、C4、C5、

ACEA-2021 首次将乘用车机油和重负荷商用车油的标准分开。符合 ACEA 标准的油品普遍比

备更高的抗磨性能, 这样才能降低发动机磨损, 助力发动机更好的工作。因此, 柴油机油的质量要求也更加苛刻。ACEA 标准是欧洲汽车制造业对于汽车用润滑油的检验认证标准, 代表了润滑油的世界先进技术标准, 根据某 OEM 客户需求, 开发一款符合 ACEA 要求的轻负荷商用车柴油机油产品不仅能延长柴油发动机的使用寿命也可以有助于完成清洁能源的使命, 实现低碳减排。

### 1 欧洲轻负荷发动机油

C6, 简单来说, ACEA C 级机油就是低灰分的机油, 能有效的避免颗粒捕捉器的堵塞。

#### 1.1 欧洲轻负荷发动机油性能要求

收稿日期: xxxx-xx-xx

作者简介: 刘颖 (1980-), 女, 工学硕士, 主要研究方向为发动机油开发, E-mail: liuyingdl\_rhy@petrochina.com.cn;

美日韩版油品高温高剪切粘度高，适应工作稳定高、冷热状态差异大、内部压力大、需要润滑油在粘度上有额外的补偿。

ACEA 于 2021 年 5 月 1 日正式实施了 ACEA-2021 轻负荷发动机油规格。其中 C 系列属

于低硫、低磷、低硫酸盐灰分 C 系列属于低硫、低磷、低硫酸盐灰分（低 SAPS），对油品配方中的硫、磷和硫酸盐灰分有限值要求，满足 TGDI 最新发动机技术和先进后处理装置适应性的要求<sup>[2]</sup>，部分技术要求如表 1。

表 1 ACEA-2021 轻负荷发动机油规格 C 系列部分技术要求<sup>[3]</sup>

项目	指标极限					试验方法
	C2-21	C3-21	C4-21	C5-21	C6-21	
黏度等级	参照最新版 SAE J300 标准	N/A				
剪切喷嘴	所有等级在原黏度等级范围内	所有等级在原黏度等级范围内	所有等级在原黏度等级范围内	所有等级在原黏度等级范围内	所有等级在原黏度等级范围内	CECL-14-93 或 ASTM D6278 或 ASTM D7109
高温高剪切黏度(150 °C, 10 <sup>6</sup> s <sup>-1</sup> ) /mPa · s	≥2.9	≥3.5	≥3.5	2.6~2.9	2.6~2.9	CEC L-36-90
蒸发发损失Noack, 250°C,1h) /%	≤13	≤13	≤11	≤13	≤13	CEC L-40-93
TBN/mgKOH g <sup>-1</sup>		≥6.0	≥6.0	≥6.0	报告	ASTM D2896
硫含量/%	≤0.3	≤0.3	≤0.2	≤0.3	≤0.3	ASTM D4951
磷含量/%	0.07~0.09	0.07~0.09	≤0.09	0.07~0.09	0.07~0.09	ASTM D4951
硫酸盐灰分/%	≤0.8	≤0.8	≤0.5	≤0.8	≤0.8	ASTM D874
氯含量/%	报告	报告	报告	报告	报告	ASTM D6443
橡胶相容性(用未老化的新油浸泡 7 天后, 其性能的最大变化)						CEC L-112-16
RE6						
拉伸强度变化/%	报告	报告	报告	报告	报告	
扯断伸长率/%	-70~+20	-70~+20	-70~+20	-70~+20	-70~+20	
体积变化/%	-1.5~+1.8	-1.5~+1.8	-1.5~+1.8	-1.5~+1.8	-1.5~+1.8	
RE7						
拉伸强度变化、%	报告	报告	报告	报告	报告	
扯断伸长率/%	-65~+15	-65~+15	-65~+15	-65~+15	-65~+15	
体积变化/%	-1.8~+7.7	-1.8~+7.7	-1.8~+7.7	-1.8~+7.7	-1.8~+7.7	
RE8						
拉伸强度变化/%	报告	报告	报告	报告	报告	
扯断伸长率/%	-51~+9	-51~+9	-51~+9	-51~+9	-51~+9	
体积变化/%	0.0~+10.7	0.0~+10.7	0.0~+10.7	0.0~+10.7	0.0~+10.7	
RE9						
拉伸强度变化/%	报告	报告	报告	报告	报告	
扯断伸长率/%	-51~+9	-51~+9	-51~+9	-51~+9	-51~+9	
体积变化/%	0.0~+10.7	0.0~+10.7	0.0~+10.7	0.0~+10.7	0.0~+10.7	

抗泡性（泡沫倾向性/泡沫稳定性） mL/mL						ASTM D892
程序 I（24℃）	≤10/0	≤10/0	≤10/0	≤10/0	≤10/0	
程序 II（94℃）	≤50/0	≤50/0	≤50/0	≤50/0	≤50/0	
程序 III（后 24℃）	≤10/0	≤10/0	≤10/0	≤10/0	≤10/0	
高温抗泡（泡沫倾向性/泡沫稳定性） mL/mL						ASTM D6082
程序 IV（150℃）	≤100/0	≤100/0	≤100/0	≤100/0	≤100/0	
	参照最新版 SAE J300 标准	CEC L-105-12				
生物柴油氧化						CEC L-109-14
氧化值（168h, DIN 51453） /A·cm <sup>-1</sup>	≤100	≤100	≤100	≤100	≤100	
氧化值（216h, DIN 51453） /A·cm <sup>-1</sup>	≤120	≤120	≤120	≤120	≤120	
100℃运动黏度增长率（168h） %	≤60	≤60	≤60	≤60	≤60	
100℃运动度增长率（216h） %	≤150	≤150	≤150	≤150	≤150	
汽油机清净性试验						CEC L-111-16 (EP6CDT)
活塞清净性评分/分	≥RL259	≥RL259	≥RL259	≥RL259	≥RL259	
涡轮增压器沉积物（C, D, E&F 区域的平均值）评分/分	≥6.0	≥6.0	≥6.0	≥6.0	≥6.0	
低温油泥（MS 程序 VH 试验）						ASTM D8256
平均发动机油泥评分/分	≥7.6	≥7.6	≥7.6	≥7.6	≥7.6	
平均摇臂罩油泥评分/分	≥7.7	≥7.7	≥7.7	≥7.7	≥7.7	
平均发动机漆膜评分/分	≥8.6	≥8.6	≥8.6	≥8.6	≥8.6	
平均活塞裙部漆膜评分/分	≥7.6	≥7.6	≥7.6	≥7.6	≥7.6	
压缩环热粘环	无	无	无	无	无	
滤网堵塞/%	报告	报告	报告	报告	报告	
阀系磨损（MS 程序 IVB 试验）						ASTM D8350
平均进气挺柱体积柱失（8个活塞平均） /mm <sup>3</sup>	≤3.3	≤3.3	≤3.3	≤3.3	≤2.7	
试验后油中的铁含量 /mg - kg <sup>-1</sup>	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	
黑色油泥						CEC L-107-19 (M271 EVO)
平均发动机油泥评分/分	≥8.3	≥8.3	≥8.3	≥8.3	≥8.3	

燃油经济性						
燃油经济性改善率/%	≥2.5	≥1.0 (仅 xW-30, 对 xW-40 无限 制)	≥1.0 (仅 xW-30, 对 xW-40 无限 制)	≥3.0		CEC L-54-96 (M111)
中温分散性						CEC L-106-14 (DV6C)
含5.5%烟炭100°C绝对 度增加值/mm <sup>2</sup> -s <sup>-1</sup>	≤ 0.9 x RL248	≤ 0.9 x RL248	≤ 0.9 x RL248	≤ 0.9 x RL248	≤ 0.9 x RL248	
柴油机活塞清净性和环粘结						CEC L-117-20 (VWTDI)
活塞清净性评分/分	≥RL276-5	≥RL276-5	≥RL276-5	≥RL276-5	≥RL276-5	
气缸衬套限值评分/分	≤13	≤13	≤13	≤13	≤13	
无环粘结, 任一环的最大值/ASF	0	0	0	0	0	

从表 1 可以看出 2021 ACEA 规格包括 5 个新的程序测试和一个后续试验, 新测试中有 3 个测试来自 API (美国石油学会) 和 ILSC (国际润滑剂标准化及认证委员会) 内燃机油规格中的程序试验, 5 个新程序测试为 (1) ASTM D8350 (Sequence IVB) 测试阀系磨损, 替代 CEC L-038-94 测试, 适用所有类别油品测试; (2) ASTM D8291 (Sequence IX, Ford), 评价汽车发动机油在降低第九顺序汽油涡轮增压直喷火花点火发动机中低速预点火性能的标准试验方法; (3) ASTM D 8279-19 (Sequence X, Ford test), 测试汽油直喷内燃机的链条磨损, 旨在确保汽油直喷凸轮轴驱动链条的磨损保护, 适用于 A7/B7 和 C6; (4) CECL-114-19 (Toyota KD-FTV), 测试柴油内燃机中涡轮增压器沉积物, 旨在避免 TCC 沉积物的形成, 确保柴油机效率提升; (5) CECL-117-20 (VWTDI), 测试直喷柴油机活塞清净性及黏环, 代替 CEC-L-078-99 测试, 适用于所有类别油品[4]。8 个理化实验, 分别是柴油喷嘴剪切、高温高剪切试验、蒸发损失、碱值、硫、磷、硫酸盐灰分、氯含量和抗泡性。

## 1.2 轻负荷柴油机油主要性能

ACEA C 级机油就是低灰分的机油, 能有效的避免颗粒捕捉器的堵塞。最新 ACEA-2021 版本剔除了 C1 标准, 增加了 C6。C 系列调整后, C3 为首看重性能, 粘度偏大, C5、C6 看重燃油经济型, 粘度偏小。

(1)C2: 中低灰分的发动机机油, 专为 HTHS 粘

度为 2.9 至 3.5  $mPa \cdot s$  的发动机油设计, 适用于加装了后处理系统的汽油发动机、轻型柴油发动机或直喷式柴油发动机。

(2)C3: 中低灰分的发动机机油, 专为 HTHS 粘度为 3.5  $mPa \cdot s$  的发动机油设计, 适用于加装了后处理系统的汽油发动机、轻型柴油发动机或直喷式柴油发动机。

(3)C4: 低灰分的发动机机油, 专为 HTHS 粘度为 3.5  $mPa \cdot s$  以下的发动机油设计, 适用于加装了后处理系统的汽油发动机、轻型柴油发动机或直喷式柴油发动机。

(4)C5: 中低灰分的发动机机油, 专为 HTHS 粘度为 2.6  $mPa \cdot s$  以下的发动机油设计, 适用于加装了后处理系统的汽油发动机、轻型柴油发动机或直喷式柴油发动机。

(5)C6: 中低灰分的发动机机油, 专为 HTHS 粘度为 2.6  $mPa \cdot s$  以下的发动机油设计, 适用于加装了后处理系统的汽油发动机、轻型柴油发动机或直喷式柴油发动机。ACEA C6 标准发动机机油还可以为涡轮增压发动机提供低速早燃、磨损保护、以及沉积物保护。

## 2 某欧洲轻负荷发动机油 C2 5W-30

针对轻负荷发动机油规格标准的性质要求, 考虑到 OEM 产品汽车后处理系统且是缸内直喷柴油发动机, 选取了性能卓越的润滑油复合剂和三类基础油进行产品开发, 通过配方的调整和优化, 研制的 C2 5W-30 柴油机油通过 ACEA 台架

试验，产品满足 ACEA 规格要求.部分台架数据 如表 2，理化数据如表 3。

表 2 C2 5W-30 柴油机油部分台架数据

项目	质量指标	实测值	试验方法
橡胶相容性试验			
RE6			
拉伸强度变化 / %	报告	6	
破裂伸长率 / %	-70/+20	-10	
体积变化 / %	-1.5/+1.8	0.4	
RE7			
拉伸强度变化 / %	报告	3	
破裂伸长率 / %	-65/+15	-22	
体积变化 / %	-1.8/+7.7	2.3	CEC L-112-16
RE8			
拉伸强度变化 / %	报告	-1	
破裂伸长率 / %	-51/+9	-12	
体积变化 / %	0.0/+10.7	3.7	
RE9			
拉伸强度变化 / %	报告	-1	
破裂伸长率 / %	-65/+19	-18	
体积变化 / %	-1.5/+13.8	5.3	
生物柴油对油品氧化性能的影响			
168h 氧化值/(A/cm)	不大于 100	34.8	
216h 氧化值 (EOT) /(A/cm)	不大于 120	37.1	CEC L-109-14
168h, 100℃运动黏度增长/%	不大于 60	47.2	
216h, 100℃运动黏度增长/%	不大于 150	85.5	
旧油低温泵送性能			
MRV/ (mPa·s)	在 SAE J300 新油范围内	26800	CEC L-105-12
屈服应力 / Pa			
直喷汽油发动机清净性 (EP6CDT)			
活塞漆膜清净性评分	不小于 RL259	5.4	
涡轮增压器沉积物评分 (C、D、E&F 区平均值)	不小于 RL259	(RL259:4.9)	CEC L-111-16
		7.6	
		(RL259:6.6)	
黑色油泥 (M271)			
平均发动机油泥评分	≥8.3	9.5(RL140:8.2)	CEC L-107-19
燃油经济性 (M111)			
与 RL191 (15W-40) 参比油相比, 燃油经济性改进 / %	不小于 2.5	2.5	CEC L-54-96
低温油泥(程序 VH)			
平均发动机油泥评分	不小于 7.6	9.1	
摇臂盖油泥评分	不小于 7.7	9.5	
平均发动机漆膜评分	不小于 8.6	9.2	ASTM D8256
平均活塞裙部漆膜评分	不小于 7.6	8.8	
压缩环热粘结	无	无	
机油滤网堵塞 / %	报告	0	

中温分散性能(DV6C) 5.5%烟炱含量下 100℃黏度增长 / (mm <sup>2</sup> /s) 活塞清净性评分	不大于 0.9×RL248 不小于 2.5	7)	5.7(RL248:27. 4.6	CEC L-106-14
--	--------------------------	----	----------------------	--------------

表 3 C2 5W-30 柴油机油理化数据

项目	质量指标	实测值	试验方法
密度 20℃/kg/m <sup>3</sup>	报告	850.9	SH/T0604-2000
运动粘度(100℃)/mm <sup>2</sup> /s	9.3~<12.5	11.92	GB/T265-1988
低温动力粘度(-30℃)/mPa.s	不大于 6600	6170	GB/T6538-2010
低温泵送粘度(-35℃)/无屈服应力 mPa.s	不大于 60000	27400	SH/T0562-2013
剪切安定性(柴油喷嘴法)	9.3~<12.5	11.97	SH/T0103-2007
高温高剪切粘度(150℃,106S-1)/mPa.s	不小于 2.9	3.53	NB/SH/T0703-2020
蒸发损失(质量分数)/%	不大于 13.0	9.6	SH/T0059-2010
锌含量(质量分数)/%	报告	0.0829	GB/T17476-1998(2004)
磷含量(质量分数)/%	0.07~0.09	0.0722	GB/T17476-1998(2004)
钙含量(质量分数)/%	小于 0.13	0.126	GB/T17476-1998(2004)
硫含量(质量分数)/%	不大于 0.3	0.204	SH/T0689-2000
硫酸盐灰分(质量分数)/%	不大于 0.8	0.78	GB/T2433-2001
泡沫特性(泡沫倾向/泡沫稳定性)/mL/mL24℃	不大于 10/0	0/0	GB/T12579-2002
泡沫特性(泡沫倾向/泡沫稳定性)/mL/mL93.5℃	不大于 50/0	10/0	GB/T12579-2002
泡沫特性(泡沫倾向/泡沫稳定性)/mL/mL 后 24℃	不大于 10/0	0/0	GB/T12579-2002
泡沫特性(泡沫倾向/泡沫稳定性)/mL/mL150℃	不大于 100/0	30/0	SH/T0722-2002

### 3 某欧洲轻负荷发动机油 C2 5W-30 的应用研究

某欧洲轻负荷发动机油 C2 5W-30 柴油机油是专门为要求使用欧洲轻负荷规格的柴油机油专门开发的产品, 根据 OEM 需求, 在开发过程中为确保产品的适用性, 除了台架试验和理化试验, 还进行了发动机规定时间的耐久试验。

#### 3.1 试验条件

汽车耐久性试验是为了考核整车、系统、子系统和零部件可靠性的一组试验, 汽车耐久试验场中有模拟实际行驶中环路的一系类典型路面, 包含环路、城市路、直线路、高速路、长途行驶、砂子路、破道路等不同的试验路况<sup>[5]</sup>。每一种道路都使车辆受到独特的载荷。某欧洲轻负荷发动机油 C2 5W-30 的耐久性试验包括城市模拟道路试验和强化道路试验等, 必须达到每千辆车故障数低于限值的要求。该试验发动机为直列四缸带后处理装置, 目前已完成 500h 发动机耐久性试验。

#### 3.2 试验过程

将试验车辆原用机油在热的状态下从油底壳底部放干净, 并用试验机油清洗发动机 2-3 次, 每次怠速运行 15 min, 然后从油底壳底部放干净清洗油。发动机清洗完成后, 更换机滤、空滤和燃油滤, 再加入新的试验机油。根据发动机测试程序情况, 在第一次 50h 循环后, 每 100h 后更换油品。用专用采样器从机油尺管口处采集 300mL 油样作分析油样, 项目包括粘度、酸值和碱值、燃油稀释、元素和红外(硝化物、氧化物和烟炱)五个方面。并补加新试验机油至机油尺上刻度的中上限, 其间, 对工况、燃油和机油的各种情况进行记录。

#### 3.3 结果与分析

目前国际上尚无由权威组织或机构制定的统一发动机油换油指标标准。国外一些知名汽车公司甚至取消了发动机油换油期的规定采用车载自动诊断系统技术来决定换油时机<sup>[6]</sup>。参考

GB/T7607-2010《柴油机油换油指标》，结合 OEM 客户需求。根据 GB/T 7607 柴油发动机油换油指标推荐：一般运动粘度变化率（100℃） $\geq \pm 20\%$ ，

### 3.4.1 运动粘度

油品的黏度是发动机正常润滑的基本保证。发动机工作过程中油品黏度的变化受多种因素的影响，如油品中增黏剂受到剪切作用降解、燃油稀释等会使黏度下降，油品氧化、油泥生成及不溶物的增加等会导致油品黏度增加。运动黏度变化率一定程度上表征了油品质量的衰变情况。油品运动黏度增长快，说明氧化加剧、油泥增多，油品的流动性变差，润滑性降低，可能会引起发动机故障；运动黏度下降会导致柴油机油的油膜变薄，润滑性能下降，发动机会由于油膜不够而拉缸。C2 5W-30 柴油机油试验油运动黏度变化趋势如图 1。试验油品 100℃黏度变化率仅有 4%，远低于极限值 20%，资料显示试验油 100℃年度变化率大小可区分其高温抗氧化性能的差异<sup>[7]</sup>。由此可见，本实验油体现出高温抗氧化的优越性。

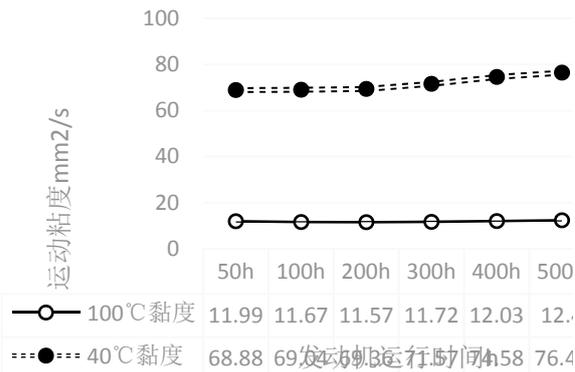


图 1 C2 5W-30 柴油机油试验油运动黏度变化趋势

### 3.4.2 酸值和碱值

发动机油在使用过程中产生的氧化衰变产物、燃油不完全燃烧产物等污染物对发动机性能造成非常大的影响。碱值是衡量润滑油清净性能的重要指标，通常，碱值越高，其中和酸性物质的能力越强，清净性越好；同时，润滑油在高温下氧化生成过氧化物、羧酸、酮等化合物，生成的有机酸还可引起发动机部件的腐蚀磨损，从而降低发动机的使用寿命。试验油的酸值变化是一个反映油品抗氧化性能的指标，显现了基础油的氧化衰变和相关添加剂消耗降解状态。C2 5W-30 柴油机油试验油酸、碱值变化趋势如图 2 所示，试验油酸、碱值分析数据可以发现，试验过程中并未发生酸碱值交叉情况，且酸碱值均未超出换油指标。

燃油稀释 $\geq \pm 5\%$ ，减值下降率不低于新油 50%，酸值增加值 $\geq 2.0\text{mgKOH/g}$ 。

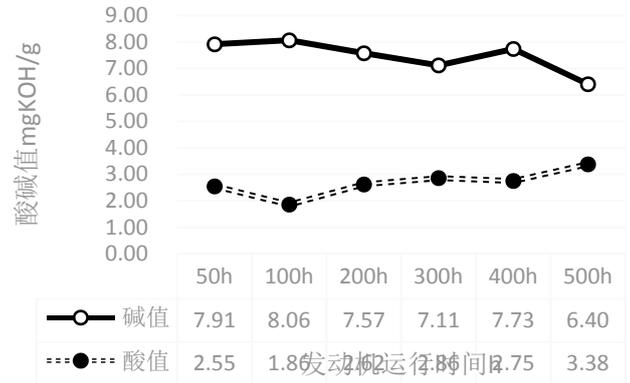


图 2 C2 5W-30 柴油机油试验油酸、碱值变化趋势

### 3.4.3 燃油稀释

燃油稀释反映出油品中混入燃油（柴油）的程度，燃油稀释过高会造成油品黏度的下降，进而造成油膜厚度下降，引起发动机异常磨损，造成拉缸的严重后果。燃油稀释数据可以发现，本次行车试验过程中并未发生柴油混入现象，燃油稀释比例极低。C2 5W-30 柴油机油试验油燃油稀释变化趋势见图 3。



图 3 C2 5W-30 柴油机油试验油燃油稀释变化趋势

### 3.4.4 红外分析

红外分析是通过通过对不同行驶里程的油品红外光谱中各特征基团峰面积的比较，来判断油品的氧化、硝化程度及烟炱含量情况。C2 5W-30 柴油机油试验油红外分析变化趋势的结果如图 4 所示，氧化物最高值 0.21A/0.1mm，硝化物最高值 0.19A/0.1mm。根据资料氧化物值高 1.0A/0.1mm，油品氧化程度将会恶化，黏度增长加剧，将出现

拐点<sup>[8]</sup>, 试验油品的氧化硝化程度均不严重且表现出良好的抗氧化、硝化能力。

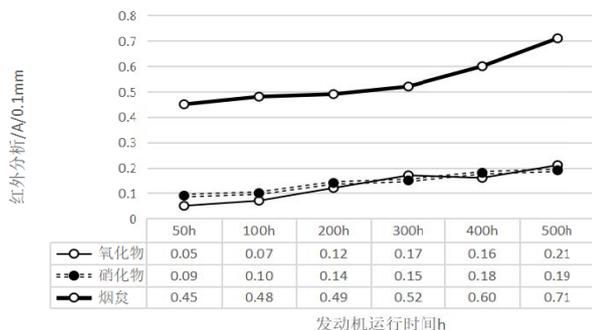
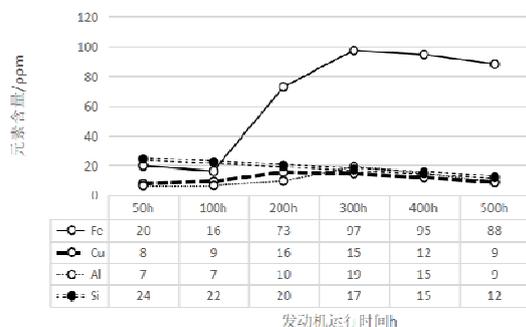


图 4 C2 5W-30 柴油机油试验油红外分析变化趋势

### 3.4.5 元素分析

柴油机使用大多数为滑动轴承, 且承载较高。凸轮等部件承受负荷更高; 同时缸套活塞环磨损程度较高, 要求润滑油油膜保持性特别高。因此, 要求柴油机油在高负荷、高温、高速的条件下, 必须具有良好抗磨损性能。监测发动机是否磨损, 着重看用油中铁、铜、铝、铅等金属元素含量, 这些元素主要来自缸套活塞环、凸轮轴、曲轴及连杆轴瓦、各类滑动轴承等部位, 并根据元素增长趋势分析原理综合判断。一般情况下在用油中铁含量  $>150\mu\text{g/g}$ , 铜含量  $>50\mu\text{g/g}$ , 铝含量  $>30\mu\text{g/g}$  等, 否则更换新油。硅含量主要与砂蚀、尘土以及外界异物产生的磨损有关, 当车辆行驶在路况较差或灰尘较多的道路时, 在用油的硅含量会明显增加; C2 5W-30 柴油机油试验油元素分析变化趋势见图 5。试验油元素分析结果显示磨损均在可接受范围内。



收稿日期: xxxx-xx-xx

作者简介: 刘颖 (1980-), 女, 工学硕士, 主要研究方向为发动机油开发, E-mail:liuyingdl\_rhy@petrochina.com.cn;

图 5 C2 5W-30 柴油机油试验油元素分析变化趋势

3.5 耐久性试验总结在匹配采用欧洲发动机技术并满足国 VI 排放的 OEM 指定发动机上, 成功进行了 C2 5W-30 柴油机油的台架耐久性试验, 结果表明, 研制的 C2 5W-30 柴油机油技术上可以满足 ACEA C2 规格的润滑要求, 在相应的耐久性台架试验中, 试验油的粘度、酸值、碱值、红外、金属元素和燃油稀释等数据指标均在换油指标范围内, 油品仍具有一定的碱储备度, 且黏度并未明显增长, 体现出油品良好的碱保持性及高温抗氧化性能。发动机磨损正常, 润滑性能良好。

## 4 结论

研制的欧洲轻负荷柴油机油产品 C2 5W-30 性能可靠, 粘温性保持良好, 高温抗氧化性能优异, 耐久试验后发动机主要部件磨损正常, 属于正常磨损。完全满足 ACEA 规格的发动机油润滑需求, 具有与 OEM 提供发动机的良好兼容性。

### 参考文献:

- [1] 全兴信, 李钟福. 内燃机学[M]. 1版. 北京: 机械工业出版社 2015:235-293.
- [2] 石顺友, 张广辽, 潘正华等. 欧洲 ACEA 轻负荷发动机油规格的最新发展[J]. 润滑油, 2022, 37(03): 49-57.
- [3] ACEA European Oil Sequences For Light-duty Engine 2021
- [4] 黄丽敏. ACEA 将要使用 API/ILSAC 测试程序, 引起北美相关组织的高度关注 [J]. 石油炼制与化工, 2019, 50(02): 49.
- [5] 韦夏, 周朝军, 钟涛等. SP/GF-6A 5W-30 发动机油对五菱 N15 系列发动机的适用性研究 [J]. 石油商技, 2022, 40(06): 18-26.
- [6] 杨慧青, 王亚萍, 俞巧珍. 发动机油换油指标的研究 [J]. 石油商技, 2011, 29(03): 30-39.
- [7] 包冬梅, 杨友文, 姚斌等. 昆仑 A3/B3 5W-40 汽柴油轿车发动机油的应用研究 [J]. 润滑油, 2010, 25(05): 18-21.
- [8] 王成功, 谷祖国, 郝玉杰. SJ 汽油机油实车使用试验 [J]. 润滑油, 2002(06): 48-54.