

中国商用车发动机油自主规格油品开发

金鹏, 焦军平, 郭鹏, 段况华

(中国石油兰州润滑油研究开发中心, 甘肃 兰州 730060)

Development of the Oil Product for Independent Specification of Commercial Vehicle Engine Oils in China

JIN Peng, JIAO Jun-ping, GUO Peng, DUAN Kuang-hua

(Lanzhou Lube Oil R&D Institute of Petrochina, Gansu Lanzhou 730060, China)

Abstract: Kunlun Lubricant, as one of the leading units of the China Standard Development and Innovation Alliance for Engine Lubricants, has taken the lead in conducting research on the Oil Product which meet the Independent Specification in China. In the hydrogenation base oil system, unique additive selection technology is adopted to meet the requirements of high temperature detergency and oxidation resistance of diesel engine oil under full power operating conditions; Solved the requirements for high temperature cleanliness and dispersibility of diesel engine oil under high soot and alternating load conditions; Solved the requirements for wear resistance, oxidation resistance, and low-temperature pumping performance of diesel engine oil under high soot, low speed, and high torque operating conditions; Solved the requirements for high temperature cleanliness and wear resistance of diesel engine oil under fuel dilution and alternating load conditions. We plan to adopt integrated optimization technology to meet the requirements of gas engine oil cleanliness and oxidation resistance.

摘要: 昆仑润滑作为发动机润滑油中国标准开发创新联盟的组长单位之一, 在国内率先开展了一些自主规格油品的研究工作。在加氢基础油体系, 采用独特的添加剂选配技术, 解决了柴油机油在全功率工况条件下的高温清净性和抗氧化性等要求; 解决了柴油机油在高烟炱及交变负荷工况条件下的高温清净性和分散性等要求; 解决了柴油机油在高烟炱、低速大扭矩工况条件下的抗磨损性、抗氧化性和低温泵送性等要求; 解决了柴油机油在燃油稀释及交变负荷工况条件下的高温清净和抗磨损性等要求。拟采用集成优化技术, 解决燃气发动机油清净性和抗氧化性等要求。

关键词: 商用车; 发动机油; 自主规格; 油品开发

Key words: commercial vehicle; engine oil; independent specification; oil development

中图分类号: TK4*** (请查阅中图分类号第 5 版)

文献标识码: A

0 概述

我国是全球汽车和发动机产销量第一大国, 发动机技术已实现自主, 而发动机润滑油却长期采用美国的 API 标准, 针对中国发动机技术和燃油等特点, 发展中国自己的发动机润滑油标准势在必行。^[1] 昆仑润滑与“发动机润滑油中国标准开发创新联盟”成员一道, 历时五年, 确定了一汽 CA6DM3、东风 DCI11、潍柴 WP13 和江淮 2.0CTI 四个发动机作为台架试验的原型机。充分结合我国柴油机技术特点和

使用实际, 经过多家实验室和创新联盟的不懈工作, 形成了石化行业润滑油台架评价方法标准并完成了中国柴油机油自主规格 D1 的开发。昆仑润滑在国内最早开展了 D1 规格油品的研究。在加氢基础油体系, 通过独特的添加剂选配技术, 解决了 D1 油品清净、分散、抗氧化和抗磨损等关键技术难题, 油品试验里程逾 15 万公里。并于 2023 年开始了燃气发动机油自主规格开发的相关工作。

1 D1 规格油品的技术要求

“发动机润滑油中国标准开发创新联盟”在 2021 年发布了中国第一个自主柴油机油规格 D1 征求意见稿，采用我国自主技术的一汽 CA6DM3、东风 DCI11、潍柴 WP13 和江淮 2.0 CTI 等四款柴油机，建立了标准化的评定台架，可对柴油机油的清浄性、分散性、抗氧化性和抗磨损性等综合性能进行评定。

表 1 柴油机油 D1 规格相关台架试验

| 标准编号 | 标准名称 | 发布部门 | 实施日期 |
|----------------------|----------------------|-------|------------|
| NB/SH/T 6062-2022 | 柴油机油综合性能的评定 CA6DM3 法 | 国家能源局 | 2022-11-13 |
| NB/SH/T 6063-2022 | 柴油机油综合性能的评定 DCI11 法 | 国家能源局 | 2022-11-13 |
| NB/SH/T 6064-2022 | 柴油机油综合性能的评定 WP13 法 | 国家能源局 | 2022-11-13 |
| NB/SH/T 6065-2022 | 柴油机油综合性能的评定 2.0CTI 法 | 国家能源局 | 2022-11-13 |

CA6DM3 法根据一汽解放 CA6DM3 柴油发动机对柴油机油的性能需求，重点考核柴油机油在全功率工况条件下的高温清浄性和抗氧化性等综合性能；DCI11 法根据东风商用 DCI11 柴油发动机对柴油机油的性能需求，重点考核柴油机油在高烟怠及交变负荷工况条件下的高温清浄性和分散性等综合性能；WP 13 法根据潍柴 WP13 柴油发动机对柴油机油的性能需求，重点考核柴油机油在高烟怠、低速大扭矩工况条件下的抗磨损性、抗氧化性和低温泵送性等综合性能；2.0CTI 法根据江淮汽车 2.0CTI 柴油发动机对柴油机油的性能需求，重点考核柴油机油在燃油稀释及交变负荷工况条件下的高温清浄和抗磨损性等综合性能。

低温动力黏度、低温泵送黏度、运动黏度等指标参照了 SAE J300-2015 中的标准；其他理化指标参照了 ASTM D4485-2018 中 CK-4 的技术指标。

2 清浄剂的选择

在我国现阶段，活塞基本采用钢活塞，其特点是爆发压力大，较之前的铝活塞的温度高，对油品的高温清浄性提出了更高的要求。四个台架评价方法中，CA6DM3 更侧重评价油品的高温清浄性。方法根据 CA6DM3 发动机工况特点及市场对长寿命油品的需求，将活塞总沉积物、活塞内顶评分、活塞二环槽沉积物评分、活塞环黏结、活塞环和缸套擦伤作为重要评分点。

烷基水杨酸盐是在烷基酚上引入羧基，并将金属由羟基位置转到羧基位置。这种转变使得其分子极性增强，高温清浄性大为提高。近年来，昆仑润滑研究发现，由于烷基水杨酸盐分子极性增强，高温清浄性好，尤其是对于现代负荷重、活塞温度高的大型柴油机油所要求的顶环槽充炭和顶环台重炭具有极好的清浄作用，这对于磺酸盐清浄剂是很难达到这一效果的。同时由于该剂具有良好的高温清浄性、酸中和能力和较好的热稳定性以及一定的低温分散能力和抗氧抗腐蚀性能，它的使用对于保证发动机内部清浄、减少积碳、延长发动机寿命起到重要作用。昆仑润滑 D1 的配方设计就是采用以水杨酸盐为主清浄剂的配方体系，在热管、成焦板和 TEOST 模拟试验中均表现出比较好的效果，其清浄性效果与市售某 CK-4 对比见表 2。

表 2 昆仑 D1 与市售 CK-4 清浄性评价对比

| 项目及编号 | 热管/级 | 成焦板 /mg | TEOST/mg |
|----------|------|---------|----------|
| 昆仑 D1 | 8.0 | 9.9 | 6.7 |
| 市售某 CK-4 | 4.0 | 25.6 | 17.7 |

3 分散剂的选择

柴油机油中，分散剂最主要的作用就是分散油品中的烟炱。四个台架方法中，DCI11 对烟炱分散性要求相对较高。烟炱是以固体不溶物的形式存在于油品中，无灰分散剂极性端吸附于烟炱表面的极性基团，从而将其均匀的分散在油品中，但这种吸附和分散形式会受到各种因素的影响。在不同工况下，发动机产生的烟炱结构不同，即烟炱堆积的方式决定烟炱表面活性基团的不同，烟炱表面活性基团的变化，会对其在油品中的分散造成直接影响。

烟炱表面分布了一些含氧的活性点，这种活性

点越多,将预示着有更多的无灰分散剂可与其作用,从而将其分散在油中;如果烟炱的结构越规则,暴露在外面的可与无灰分散剂作用的活性点越少,越难将其分散在油中。而没有无灰分散剂吸附的部位,烟炱将会聚集。[2]综合考虑烟炱的分散机理及影响因素,在无灰分散剂的筛选方式上,采用发动机试验对不同无灰分散剂进行筛选,从而使试验结果与台架试验具有更好的对应性。研究中采用自建的6DL 2-35台架进行无灰分散剂的筛选,选用市售多种分散剂产品(包括各种类型丁二酰亚胺、酯类无灰分散剂、含硼无灰分散剂等),并进行组合。研究发现编号为6DL-2-35-008油品的烟炱分散性最好(不同分散剂对烟炱分散性能影响考察结果见图1),该配方设计的关键在于高分子无灰分散剂的选用及合理使用。昆仑D1配方的开发,在分散剂的选择上正是采用了这种思路。

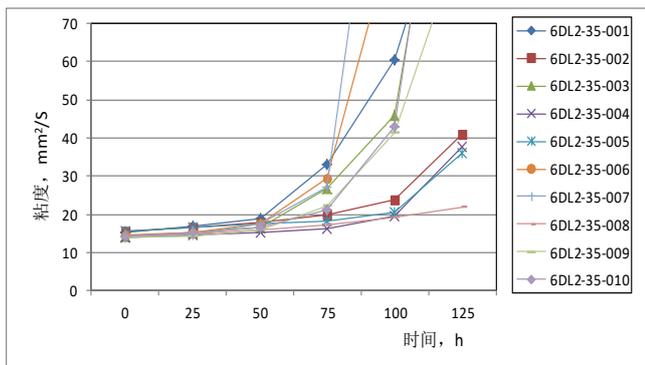


图1 不同分散剂对烟炱分散性能影响考察

4 抗氧化剂的选择

抗氧化性与油品的综合性能和换油周期直接相关。D1柴油机油规格中CA6DM-3和WP 13都体现了对油品抗氧化性的直接要求,尤其是CA6DM-3由以往柴油机油规格单一评价氧化引起的粘度增长扩展到粘度增长、氧化红外峰高等方面,对油品抗氧化性能要求更高,因此考虑引入新型抗氧化剂。研究发现,N-苯基-a-萘胺无灰抗氧化剂能使氧化初期连锁反应的链中断,起到抑制作用,并且在航空油中有成功应用先例,因此,昆仑D1的开发中在传统ZDDP基础引入了N-苯基-a-萘胺无灰抗氧化剂,取得了满意的效果。a-萘胺无灰抗氧化剂在油品中使用效果见表3。

表3 a-萘胺无灰抗氧化剂在油品中使用效果

| 项目及编号 | 起始氧化温度/°C | 氧化峰值温度/°C |
|-------|-----------|-----------|
| | | |

| | | |
|--------|-------|-------|
| 传统配方体系 | 235.3 | 236.4 |
| D1配方体系 | 260.5 | 261.6 |

5 抗磨剂的选择

抗磨性是发动机油最重要的使用性能之一,在D1规格的台架要求中,WP13和2.0CTI对抗磨性都有直接要求。在抗磨性的解决上,ZDDP系列添加剂在内燃机油品中体现出良好的抗氧抗腐和抗磨作用,加之成本低廉,具有无可替代的优势。但D1规格中,对油品的SAPS含量也进行了限制,使得ZDDP加量受限。同时,WP 13苛刻度较高、2.0CTI需考虑燃油稀释带来的影响。昆仑润滑在该问题的解决上采用ZDDP补加无灰抗磨剂的方式,由于昆仑D1配方采用的是水杨酸盐清净剂体系,因其不含硫,所以对含硫剂的使用留有一定空间。含硫无灰抗磨剂的使用效果见表4。

表4 含硫无灰抗磨剂的使用效果

| 项目及编号 | X2 | X3 |
|---------|-------|-------|
| ZDDP | m1% | m1% |
| 含硫无灰抗磨剂 | 0 | m2% |
| 其它 | 余量 | 余量 |
| 硫元素/% | ≥0.40 | ≥0.40 |
| 磷元素/% | ≥0.12 | ≥0.12 |
| 硫酸灰分/% | ≥1.0 | ≥1.0 |
| 烟炱磨损/mm | 0.48 | 0.41 |

由表4可见,引入m2%的含硫无灰抗磨剂使得油品在烟炱存在条件下的抗磨损性能得到显著提升,是昆仑润滑解决D1对油品抗磨性的有效方式。

6 油品使用试验

在油品配方定型后,在一汽解J6P 350 6*4牵引车完成了逾15万公里行车试验。

在用油100°C运动粘度变化趋势见图2。柴油机油运动黏度的变化趋势是反映油品实际使用性能的重要理化指标之一,柴油机油在实际使用过程中的抗剪切能力、抗氧化等能力可通过运动黏度的变化程度来反映。在使用过程中,运动黏度的变化趋势通常是先降低再升高。

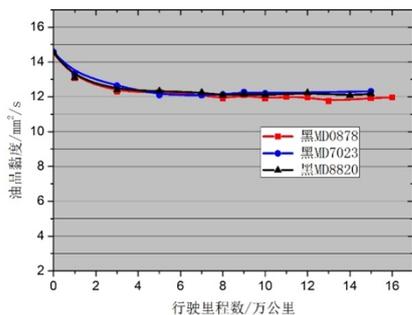


图2 在用油 100℃运动粘度变化趋势

在用油酸碱值变化趋势见图3。柴油机油的酸值源于油品在使用中高温氧化产生的中间产物及燃烧产生的部分酸性物质，这些物质的存在表现为油品的酸值增大。柴油机油的碱值来源于油品中的碱性添加剂，其变化预示油品碱值储备能力的下降，表明油品添加剂体系中某些有效组分的衰变程度。

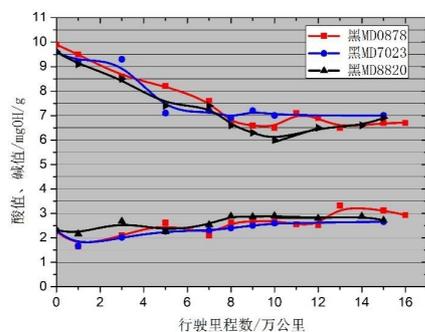


图3 在用油酸碱值变化趋势

在用油铁含量变化趋势见图4。发动机工作正常，油品中金属元素呈平稳上升趋势，如果金属元素含量急剧增加则表明发动机发生了明显的磨损。

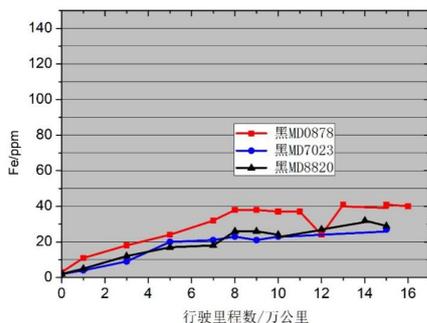


图4 在用油铁变化趋势

由图2、图3、图4可见，各监测指标变化趋势平稳，试验油能够满足试验车辆长周期使用要求。

7 NG1 自主规格油品开发

随着石油等化石能源逐年减少，环境污染和资源的可持续利用越发受到人们的关注，诸多清洁能源中，天然气因其较高的储量，较大的经济效益，趋于成熟的配套技术和相对清洁且碳排放量小的优点，逐渐在能源市场中占据重要地位。2023年5月28日发动机润滑油中国标准开发创新联盟在天津召开第十四次专家组会议，决定NG1自主规格开发启动，将采用潍柴和玉柴提供的燃气发动机为原型机开发油品评价方法。昆仑润滑作为标准开发组长单位之一，将深入参加相关工作。油品开发方面将在灰分合理控制、沉积物控制、氧化控制和换油期延长等方面率先开展研究。研究将立足自主技术，实现关键核心技术自主可控。

8 结论

(1) 在加氢基础油体系，通过采用烷基水杨酸盐、高分子无灰分散剂、萘胺型抗氧化剂及无灰含硫抗磨剂等为主剂的配方体系，解决了D1规格油品对清净性、分散性、抗氧化性和抗磨损性等要求。

(2) 昆仑润滑开发的D1油品在试验车辆完成了逾15万公里的使用试验，能够满足试验车辆长换油期使用要求。

参考文献:

- [1] 谢惊春, 杨国峰, 杨俊杰, 等. 发动机润滑油自主规格建立路线图Roadmap for Establishment of China Independent Engine Oils Specification. 润滑油. 2016, 31(3): 1-4
- [2] Sam George, Santhosh Balla, Mridul Gautam, Effect of diesel soot contaminated oil on engine wear, Wear, 2006. 11. 002