

# 绿色 15W /40SG 汽油机油的试验研究<sup>\*</sup>

姚 强

(西安科技学院, 陕西 西安 710054)

**[摘 要]** 采用植物油、150BS 作为绿色 15W /40SG 汽油机油基础油, 经过大量试验, 研究了基础油对抗氧抗腐剂、清净分散剂、降凝剂等功能添加剂的感受性及添加剂之间的配伍性。在此基础上提出绿色 15W /40SG 汽油机油的优化配方, 将研制油与进口和国产的两种同类油进行了对比试验。结果表明, 其质量水平已达到 15W /40SG 的性能要求, 且其生物降解性优于同类矿物基汽油机油。

**[关键词]** 汽油机油; 生物降解; 优化配方; 功能添加剂

**[中图分类号]** TE624 8<sup>+</sup>2; TE626 3<sup>+</sup>2 **[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-9387 (2002) 06-0229-05

内燃机油是汽车必不可少的消耗品, 随着环保意识和环保立法的加强, 人们越来越重视内燃机油等润滑剂对环境的污染问题。据统计<sup>[1]</sup>, 欧共体每年有 60 万 t 润滑剂流失到环境中; 在美国, 由于大部分驾驶员自己换机油, 每年由此产生的废机油超过 7 亿升, 其中大部分未经处理流入环境中。中国 1999 年润滑剂消耗量为 315 万 t, 其中至少 25 万 t 流入环境。专家估计<sup>[1]</sup>, 2010 年中国润滑油市场总需求量为 400 万 t, 依此推算, 至少有 30 万 t 润滑剂将流入环境。流入环境的润滑剂严重污染土壤和水资源, 矿物油对地下水的污染将达 100 年之久。基于上述原因, 国外在 20 世纪 70 年代率先开始了“绿色润滑剂”的研究, 并制定相应法规条例, 德国“蓝色天使”环保标志就是其中之一。目前, 世界各国的大石油公司已经着手研制开发环境兼容型绿色润滑油以取代传统的矿物基润滑油, 英美各国已开发出了环境友好液压油、舷外发动机油、锯链油等产品, 可生物降解的汽油机油正在推广和改进之中。中国已经加入世界贸易组织, 中国的汽车市场与国际市场接轨后, 必将带来先进的排放控制技术和环保理念, 要求内燃机油对发动机的环保技术提供支持。因此, 绿色可生物降解内燃机油将成为新的、重要的发展方向之一。国内的一些大学和研究机构也在这方面进行了一些研究, 如上海大学的胡志孟对菜籽油在润滑油添加剂中的应用进行了深入的研究; 石油化工学院的冯薇荪对生物降解性试验方法进行了

研究。本研究在考察了各种添加剂对基础油的感受性及添加剂之间的配伍性的基础上, 采用科学的均匀设计方法, 通过全配方正交试验, 提出绿色 15W /40SG 汽油机油的优化配方, 并将研制油与进口和国产的两种同类油进行了对比试验。结果表明, 其质量水平已达到 15W /40SG 的性能要求, 且其生物降解性优于同类矿物基汽油机油。现将研究结果报道如下。

## 1 基础油的选择

基础油的选择应考虑两个方面的要求, 即良好的可生物降解性, 对环境的无害性及适宜的粘度和精制深度。据此要求, 本研究选择精制菜籽油和 150BS 按一定比例调和制成基础油, 据试验, 二者比例约为 67 33<sup>[2]</sup>。其中, 精制菜籽油为一般市售产品, 150BS 为减压蒸馏后的残馏油经过精制和脱蜡而成, 本研究选用兰州炼油石化总厂生产的 150BS。表 1 为精制菜籽油、150BS 及它们调和后的基础油的理化性能指标。

精制菜籽油、150BS 及基础油的 100 运动粘度测定参照 GB/T 265- 88, 粘度指标测定参照 GB/T 1995, 倾点测定参照 GB/T 3535- 83, 闪点测定参照 GB/T 3536- 83, 油膜强度测定参照 GB/T 3142- 88, 水分测定参照 GB/T 260- 77, 机械杂质测定参照 GB/T 511- 88, 酸值测定参照 GB/T 264- 83。

<sup>\*</sup> [收稿日期] 2002-05-13

[作者简介] 姚 强 (1967- ), 男, 山西繁峙人, 讲师, 在读博士, 主要从事汽油机摩擦润滑机理研究。

由表 1 可知,精制菜籽油的粘度指数极高、抗磨性能较好、易生物降解,缺点是酸值大、粘度指数过高,导致对抗氧化性能添加剂的感受性不佳,高温氧化性差。150BS 具有较好的润滑性能,但粘度指

数低,粘温性能差。调配的基础油各项理化性能指标均满足 15W/40SG 汽油机油对基础油的性能要求,而且静置 2 个月后不分层、不沉淀,说明二者的相容性很好。

表 1 精制菜籽油、150BS 及基础油理化性能指标

Table 1 Physical and chemical properties nom of refined vegetable oil, 150BS and the base oil

| 油类<br>Oil<br>types             | 100 运动粘度/<br>(mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> )<br>Kinematic<br>viscosity | 粘度指数<br>(V I) | 倾点/<br>Pouring<br>point | 闪点<br>(开口) /<br>Flash<br>point | 油膜强度/N<br>Strength of<br>oil film PB | 水分<br>Water<br>content | 机械杂质/%<br>Mechanical<br>impurity | 酸值/<br>(mg · g <sup>-1</sup> )<br>Acid<br>value |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|
| 精制菜籽油 Refined<br>vegetable oil | 7.78                                                                        | 232           | -18                     | 310                            | 440                                  | 痕迹                     | 0.01                             | 0.1                                             |
| 150BS                          | 48.74                                                                       | 77            | -7                      | 260                            | 320                                  | 痕迹                     | 0.01                             | 0.03                                            |
| 基础油 Base oil                   | 12.8                                                                        | 146           | -14                     | > 270                          | 480                                  | 痕迹                     | 0.01                             | 0.08                                            |

注: 酸值以每克油样的 KOH 的毫克数表示。

Note: Acid value is represented by "mg" of KOH in every "g" of oil specimen

## 2 功能添加剂的选择

绿色润滑油添加剂的选择要考虑两个方面的问题。一方面,添加剂能有效改善润滑油各项理化指标和使用性能,而传统润滑油添加剂都是针对矿物油选取的,因而所选基础与传统的烃类矿物油在组织结构和物理化学性质方面有很大差别,对添加剂的感受性也有很大差异;另一方面,所选添加剂也要考虑可生物降解性的要求和其对环境的影响。德国“BLUE ANGEL”组织对绿色可生物降解润滑油的添加剂作出规定<sup>[3]</sup>:无致癌物、无致基因诱变、畸变物;不含氯和亚硝酸盐;不含金属(除钾和钙外);最大允许使用 7% 的具有潜在可生物降解性的添加剂(OECD 302B 法测定,生物降解率大于 20%);还可添加 2% 的不可生物降解的添加剂,但必须是低毒性的;对可生物降解添加剂则无此限制(根据 OECD 301A-E)<sup>[4]</sup>。传统的添加剂分子设计主要是从满足润滑油实用性能角度出发,很少考虑到环保和环境因素。添加剂的加入对基础油降解过程中的活性微生物或酶有危害作用,从而影响润滑油的生物降解率。

### 2.1 金属清净剂加量的确定

本研究选择硫化异丁烯钡盐(T108)(大连石化公司炼油厂)和烷基水杨酸钙(T109)(兰州炼油化工总厂)作为金属清净添加剂,以提高所配汽油机油的清净性、热氧化安定性,防止活塞区积炭及活塞裙部漆膜的生成,提高活塞环的活动性,并通过模拟高温成漆板试验评定其性能。试验结果表明,T108 和 T109 的加量在 2.0%~3.0% 时,金属清净剂对基础油的感受性良好<sup>[2]</sup>。考虑到经济性,

T108 和 T109 的最佳加量确定为 2.0%~2.5%。

### 2.2 无灰分散剂加量的确定

考虑到基础油稳定性较差,选择稳定性较好的双烯基丁二酰亚胺(T152)(兰州炼油化工总厂)和酯类无灰剂(L117)(兰州炼油化工总厂)作为无灰分散剂,以提高分散性能,防止油箱中低温油泥出现。分散剂的加量由斑点分散模拟试验和成漆板试验确定。结果表明,2 种分散剂的最佳复配比 T152:L117 为 1:4,复配分散剂的最佳加量为 3.0%<sup>[2]</sup>。

### 2.3 抗氧抗腐剂加量的确定

根据基础油和所配汽油机油的性能要求,综合考虑了二烷基二硫代磷酸锌(ZDDP)(兰州炼油化工总厂)、二烷基二硫代磷酸亚铜(CuDTP)(兰州炼油化工总厂)和苯骈三氮唑(T706)(南京宁江化工总厂)的抗氧抗腐作用和三者之间的协同效应,同时考察了 ZDDP 对油品抗磨性能的影响。结果表明,基础油对 ZDDP 在抗氧、抗腐和抗磨方面的感受性都不如矿物油。试验最终确定 ZDDP, CuDTP, T706 的最佳加量分别为 1.5%~2.0%, 0.2%~0.3%, 0.3%~0.4%<sup>[2]</sup>。

### 2.4 降凝剂加量的确定

试验确定降凝剂聚 $\alpha$ 烯烃-2(T803A)(兰州炼油化工总厂)加量为 0.8%<sup>[2]</sup>。

## 3 全配方试验及结果分析

在研制中,对涉及的 9 种功能添加剂,采用正交试验设计进行全配方试验,调配出各种配方,分别对其进行模拟高温成漆板试验、高低温斑点分散模拟试验、倾点及四球机磨损试验等,综合评定其使用性能。

3 1 正交试验表头设计

通过D (复配金属清净剂)、d (复配无灰分散剂)、Z (复配抗氧抗腐剂) 的复合, 将影响油品的

因子简化为 5 个, 因此采用 $L_8(2^7)$  正交试验表来安排试验 (表 2), 试验表头设计参考文献 [5]。

表 2 全配方正交试验表头设计

Table 2 Design of orthogonal experiment table of full fomulation

| 编号 | D | Z | D × Z | d | T 803A | d × Z | T 901 |
|----|---|---|-------|---|--------|-------|-------|
| 1  | 1 | 1 | 1     | 1 | 1      | 1     | 1     |
| 2  | 1 | 1 | 1     | 2 | 2      | 2     | 2     |
| 3  | 1 | 2 | 2     | 1 | 1      | 2     | 2     |
| 4  | 1 | 2 | 2     | 2 | 2      | 1     | 1     |
| 5  | 2 | 1 | 2     | 1 | 2      | 1     | 2     |
| 6  | 2 | 1 | 2     | 2 | 1      | 2     | 1     |
| 7  | 2 | 2 | 1     | 1 | 2      | 2     | 1     |
| 8  | 2 | 2 | 1     | 2 | 1      | 1     | 2     |

3 2 试验实施

在试验中, 每个油样的配方中添加剂加量遵守正交表头所规定的水平。调配完毕后, 密封静置 48 h 后, 分别测量 8 个油样的最大无卡咬负荷  $P_B$  值 (N) (试验方法参照 GB/T 3142- 88)、高温斑点分散系数 (%) (试验方法参照 SH/T 0516)、低温斑点分散系数 (%) (试验方法参照 SH/T 0516)、磨斑直径  $WSD_{30}^{392}$  (mm) (试验方法参照 GB/T 3142- 88)、倾点 (试验方法参照 GB/T 3535)、成漆板评分系数 (试验方法参照 SH/T 0516) 等 6 项理化指标。

3 3 数据标准化处理

由于 6 个指标的量纲不同, 在综合评分前, 需对其进行数据标准化处理, 在数据标准化时做如下约定:

(1) 将所有指标化为理想值是 0 的情况, 即指标值绝对值越小越好;

(2) 当要求指标绝对值越大越好时, 用该指标绝对值的倒数  $1/|M|$  来表示;

(3) 当要求指标的理想值为常数  $P$  时, 则用指标值  $M$  与  $P$  的距离  $|M - P|$  表示。

3 4 权重的确定

3 4 1 重要性权重的确定 重要性权重主要反映各试验指标对油品使用性能的影响程度, 权重越大, 影响越大; 反之则越小。通过对汽油机的主要使用性能及理化指标的重要度进行考察, 结合有关专家意见和参考资料<sup>[3]</sup>, 确定各指标的重要性权重  $K_j$  (表 3)。

表 3 各指标重要性权重的分配

Table 3 Important weight distribution of targets

| 最大无卡咬负荷<br>Maximum nonseizure load<br>( $P_B$ ) | 磨斑直径/mm<br>(WSD)<br>$D_{30}^{392}$ | 成焦量<br>Coke | 高温斑点<br>分散系数<br>Coefficient of<br>high temperature<br>stain scatter | 低温斑点<br>分散系数<br>Coefficient of<br>low temperature<br>stain scatter | 倾点<br>Pouring point |
|-------------------------------------------------|------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 0.25                                            | 0.12                               | 0.25        | 0.08                                                                | 0.20                                                               | 0.10                |

3 4 2 信息量权重的确定 信息量权重是根据试验过程中所得各指标差异大小决定的, 它们除具有归一性和非负性外, 还具有下列性质: 指标的值差异越大, 信息量权重越大; 如果某个指标在所有配方上的值相等, 则信息量权重为 0; 信息量权重对  $X_{ij}$  和  $Y_{ij}$  具有平移不变性<sup>[5]</sup>。因此, 第  $j$  个指标的信息量权重  $L_j$  为

$$L_j = \frac{\sigma_j}{\sum \sigma_j}$$

式中,  $\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2}$ , ( $i=1, 2, \dots, n$ ;

$j=1, 2, \dots, m$ );  $\bar{Y}_j = \frac{1}{n} \sum Y_{ij}$ 。

3 4 3 综合权重的确定 用  $w_j$  表示第  $j$  个指标的综合权重<sup>[4]</sup>, 则

$$w_j = \frac{L_j \cdot K_j}{\sum L_j K_j}$$

3 5 综合评分

综合评分是将多指标的问题, 通过加权计算总分的方法化成一个指标, 这样对结果的分析、计算都比较方便、简单。本研究选用常用的线性法进行综合评分, 即

$$f_i = \sum_{j=1}^m W_j \cdot Y_{ij}$$

式中,  $f_i$  为第  $i$  个配方的综合评分,  $f_i$  值越小, 则该配方综合性能越优。

### 3 6 试验结果

本试验共考虑了 5 个因素和 2 种主要的交互作用, 为考察各因子对试验结果的影响程度, 对试验

结果进行了方差分析。试验及计算结果见表 4。从表 4 数据处理分析可知, 全配方中的第 4 号配方为最优配方。其添加剂加量为: T108, 1.0%; T109, 2.0%; T152, 0.6%; L177, 2.4%; ZDDP, 2.0%; CuDTP, 0.2%; T706, 0.3%; T803A, 0.8%; T901,  $10 \times 10^{-6}$ 。

表 4 全配方正交试验及计算结果

Table 4 Orthogonal tests of full formulation and the calculation results

| 编号<br>Number | 承载能力/<br>Load-carrying<br>capacity<br>( $P_B$ ) | 磨斑直径<br>(WSD) /mm<br>$D_{30}^{392}$ | 成焦量/mg<br>Coke | 高温斑点<br>分散系数<br>Coefficient of<br>high temperature<br>stain scatter | 低温斑点<br>分散系数<br>Coefficient of<br>low temperature<br>stain scatter | 倾点/<br>Pouring<br>point | 综合评分<br>Comprehensive<br>evaluation<br>score |
|--------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|
| 1            | 768                                             | 0.59                                | 7.02           | 62                                                                  | 66                                                                 | -23                     | 0.7363                                       |
| 2            | 772                                             | 0.58                                | 7.28           | 65                                                                  | 68                                                                 | -27                     | 0.4287                                       |
| 3            | 824                                             | 0.52                                | 7.04           | 70                                                                  | 65                                                                 | -24                     | 0.3575                                       |
| 4            | 830                                             | 0.53                                | 7.50           | 68                                                                  | 66                                                                 | -27                     | 0.0885                                       |
| 5            | 788                                             | 0.61                                | 6.86           | 63                                                                  | 63                                                                 | -24                     | 0.7153                                       |
| 6            | 822                                             | 0.52                                | 6.96           | 60                                                                  | 66                                                                 | -23                     | 0.4621                                       |
| 7            | 818                                             | 0.53                                | 7.50           | 59                                                                  | 62                                                                 | -25                     | 0.3492                                       |
| 8            | 790                                             | 0.65                                | 7.46           | 65                                                                  | 61                                                                 | -24                     | 0.5248                                       |

## 4 生物降解性对比试验

生物降解性对比试验是以相同粘度级别的矿物基汽油机油为对比油, 模拟两种汽油机油排入环境后的情况, 然后测定它们的污染程度, 进行对比分析。其中对比油采用中国产 SG 级 15W/40 长城牌高级汽油机油。试验参考 OECD 301D 的试验方法<sup>[1]</sup>, 通过测定 BOD<sub>5</sub> 值来对比其生物降解性。生化需氧量是指在规定条件下, 微生物分解存在水中的某些可氧化物质, 特别是有机物所进行的生物化学过程中消耗溶解氧的量, 它与油品排放到水中后的生物降解性有一定的相关性。试验结果表明, 研制

油 BOD<sub>5</sub> 值为 60.37 mg/L, 对比油的 BOD<sub>5</sub> 值为 31.91 mg/L, 前者是后者的 2 倍, 这说明研制油中含有更多适合于微生物生长的有机物, 研制油的生物降解性优于参比油。

## 5 研制油与商品油的性能对比

为了进一步考察研究的 15W/40 汽油机油的使用性能, 选用了 2 种在市场上具有代表性的 15W/40SG 级汽油机油进行对比性能试验, 其中油 1 为进口机油 (Nico Super SG), 油 2 为国产机油 (重庆一坪)。研制油、进口机油、国产机油的性能对比见表 5。

表 5 研制油与同类油品的性能对比

Table 5 Performance comparison between the two same type oils

| 油类<br>Oil<br>types           | 100 运动粘度/<br>(mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> )<br>Kinematic<br>viscosity | 粘度指数<br>(VI) | 倾点/<br>Pouring<br>point | 闪点<br>(开口) /<br>Flash<br>point | 油膜强度 ( $P_B$ ) /N<br>Strength of<br>oil film | 磨斑直径<br>(WSD) /mm<br>$D_{30}^{392}$ | 高温斑点<br>分散系数<br>Coefficient of<br>high temperature<br>stain scatter | 低温斑点<br>分散系数<br>Coefficient of<br>low temperature<br>stain scatter |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 研制油 Oil under<br>development | 13.8                                                                        | 146          | -24                     | 270                            | 830                                          | 0.50                                | 68                                                                  | 66                                                                 |
| 油 1 Nico Super SG            | 13.5                                                                        | 110          | -25                     | 208                            | 765                                          | 0.55                                | 70                                                                  | 72                                                                 |
| 油 2 Chongqing-<br>viping     | 14.0                                                                        | 108          | -24                     | 210                            | 790                                          | 0.54                                | 67                                                                  | 69                                                                 |

表 5 表明, 研制油的分散能力、氧化清净性 (高、低温分散系数) 与参比油相当, 抗磨性能 (磨斑直径越小, 抗磨性越好) 优于参比油, 抗氧抗腐性比参比油稍差, 但能满足 15W/40SG 级油的性能要求。可见, 所研制的成品油性能已达到 15W/40 汽

机油粘度级别的要求, 其使用性能基本相当于 SG 级汽油机油, 同时还具有优良的生物降解性能, 满足环保要求。

## 6 结 论

(1) 基于绿色汽油机油的性能要求, 考虑各组分在粘温性能、抗氧化安定性等方面的相互作用, 选择菜籽油、150BS 作为基础油, 试验表明, 该基础油具有良好的兼容性。

(2) 运用正交试验方法确定的优选配方, 其结果表明, 研制油的各项理化指标均达到 15W/40 级

汽油机油的要求, 使用性能与 SG 级油相当。

(3) 对汽油机油的生物降解性评定方法进行了探索性研究, 结果表明, 利用测定油样 BOD<sub>5</sub> 值的试验方法评定汽油机油的生物降解性是一种有效方法。

(4) 建议在本研究的基础上, 进一步进行 MS 程序、L-38 发动机台架试验、全尺寸发动机台架试验和行车试验。

### [参考文献]

- [1] 张访谊 生物降解润滑油的发展及应用 [J]. 润滑油, 2001, (2): 13- 18
- [2] 姚顽强 可生物降解汽油机油添加剂感受性及配伍性分析 [J]. 西安科技学院学报, 2001, (1): 74- 77.
- [3] Mang T. Environmentally ham less lubricants- current status and relevant Geman environmental legislation [J]. NLGI Spokesman, 1993, 57 (6): 234- 238
- [4] 吕 涯 环境友好润滑剂的发展状况 [J]. 石油化工动态, 1999, (10): 15- 17.
- [5] 汪荣鑫 数理统计 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1993

## Tentative study on the green 15W/40SG gasoline engine oil

YAO Wan-qiang

(Xi'an University of Science & Technology, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

**Abstract:** The vegetable oil, as the main part mixed with 150BS, is chosen as base oil for green 15W/40SG gasoline engine oil. The sensitivity of the base oil to the additives such as detergent, disperse, antioxidant and corrosion inhibitors, and degrade pour etc, and the compatibility between them are studied by a series of tests. On the basis of these, the fomulation of green 15W/40SG gasoline oil is p resented. In addition, several experiments are made to evaluate the property of the fomulation by comparing with the commercial oils. The results show that their qualities are equivalent and the former has better biodegradable performance than petrolatum-based engine oil.

**Key words:** gasoline engine oil; biodegradation; optim izing fomulation; functional additives