

C₆₀ 的摩擦学特性研究

李积彬¹, 李 瀚¹, 孙伟安²

(1 深圳大学 工程技术学院, 广东 深圳 518060; 2 深圳大学 理学院, 广东 深圳 518060)

摘要: 采用四球摩擦磨损试验机考察了 C₆₀ 添加剂对液体石蜡的抗磨和极压性能的影响, 并与 2 种国外的商用润滑油添加剂进行了极压性能对比研究. 发现 C₆₀ 在较高速度范围内具有一定的极压与润滑作用, 其经过适宜的改性处理可望成为优良的润滑油添加剂.

关键词: C₆₀; 添加剂; 摩擦学特性

中图分类号: TH 117; TB 39

文章标识码: A

文章编号: 1004-0595(2000)04-0307-03

C₆₀ 又称巴基球, 其外形为完美的球体, 是一种划时代的新材料. C₆₀ 具有许多优良的特性, 如超导性、非线性光学特性、磁性、在空气中的热稳定性、良好的弹性、半导体特性、抗辐射及耐腐蚀性等^[1, 2]. 根据 C₆₀ 的上述特性, 人们推测全氟化 C₆₀ 在摩擦学领域具有很好的应用前景. 阎逢元等^[3] 将 C₆₀/C₇₀ 按质量分数 1% 分散于石蜡油中, 结果发现石蜡油的极压负荷提高了 3 倍, 摩擦系数降低了 1/3. 本文作者利用 C₆₀ 的油溶性, 将其以较低浓度添加到润滑油中, 研究其在润滑油中的润滑特性.

1 试验部分

采用 MS-10 型四球摩擦磨损试验机考察 C₆₀ 在润滑油中的摩擦学性能, 采用 5# 精制白油作为基础油, 以二甲苯作为 C₆₀ 的溶剂, 在规定负荷(轴向力)和选定转速下, 对试样的极压和抗磨性能进行评价; 试验方法参照 GB 3142-82 标准方法, 试球选用直径 12.7 mm 的 GCr15 钢球(硬度 59~61 HRC), 设置转速 1 500 r/min, 试验时间 10 s, 温度 20 °C. 配制二甲苯:C₆₀=100 ml:2.5 g 的溶液(简称 A 液); 为了抵消二甲苯在试验中对 C₆₀ 润滑特性的负影响, 配制白油:二甲苯=100:3 的参照液(简称油样 B); 最后配制白油:A 液=100:3 的油样(简称油样 C). 首先对油样 B 进行测试, 得出试验时间(t)-摩擦系数(μ_{max}) 曲线, 然后对油样 C 进行测试, 考察含 C₆₀ 添加剂油样的极压性能.

分别配制试验油样 D 和油样 E, 其组成的体积比

分别为白油:二甲苯=100:1 和白油:A 液=100:1; 在转动速度分别为 500 r/min、1 000 r/min、1 500 r/min、2 000 r/min 和 2 500 r/min 条件下考察润滑剂的润滑特性随速度变化的情况.

将以上 A 溶液按不同的体积比添加到基础油中, 配制成待测油样 Ca, Cb, Cc, Cd 和 Ce, 其相应的 A 溶液与基础油的体积分数分别为 0.2%, 0.5%, 1.0%, 2.0% 和 5.0%. 在四球摩擦磨损试验机上考察润滑剂的润滑特性随 C₆₀ 添加剂浓度的变化情况.

2 结果及讨论

在每次摩擦磨损试验结束后仔细观察摩擦系数测量结果的打印机输出曲线, 以输出曲线出现陡增峰

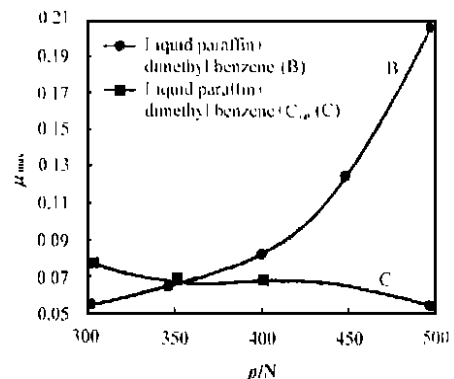


Fig 1 Variation in friction coefficient with load

图1 摩擦系数随载荷变化的关系曲线

值作为判断油膜破裂的标准. 所得摩擦系数随载荷变化的关系曲线如图1所示. 可以看出: 油样 B 润滑下

摩擦系数随载荷的变化较大,当载荷增大至 450 N 以上时,摩擦系数急剧增大,可以认为此时油膜已发生破裂;而在含 C_{60} 的油样 C 润滑下,摩擦系数随载荷的变化不大,当载荷增大至 600 N 以上时才观察到摩擦系数急剧增大(图 1 中未标出)。

当油样 B 和 C 润滑时,在不同转速下的最大无卡咬负荷随速度变化的关系曲线如图 2 所示。可以看

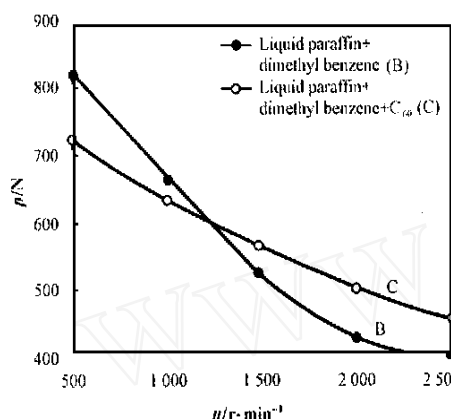


Fig 2 Variation in the non-seizure load of oil samples B and C with rotation speed

图 2 油样 B 和 C 的最大无卡咬负荷随转速变化的关系曲线

出,在速度低于 1 200 r/min 时油样 C 的极压承载能力不如油样 B,而在速度达到 1 200 r/min 以上时前者的极压承载能力更高。这表明 C_{60} 比较适用于 1 500 r/min 以上的高速范围。

表 1 列出了油样 B 和 C 在 3 种不同载荷下钢球

表 1 钢球表面磨斑直径与转速、载荷的关系

Fig 1 Variation in wear scar diameter with

$n/r \cdot \text{m in}^{-1}$	rotation speed and load						mm
	Sample B			Sample C			
	100 N	320 N	500 N	100 N	320 N	500 N	
500	-	0.12	0.32	-	0.11	0.30	
1 000	0.10	0.27	0.36	0.10	0.25	0.36	
1 500	0.22	0.29	0.36	0.18	0.30	0.36	
2 000	0.21	0.29	0.46	0.19	0.28	0.36	
2 500	0.20	0.27	0.70	0.17	0.32	0.50	

表面磨斑直径随转速的变化。可见,在低载荷下 C_{60} 添加剂对钢球磨斑直径影响不大;随着载荷的增加,在高转速范围内其差别逐渐增大。

图 3 示出了利用 PE1730 型傅立叶变换红外光谱仪对试样残液进行测试的结果。试样残液的主要特征吸收峰位于 $2\,921\text{ cm}^{-1}$ 和 $2\,850\text{ cm}^{-1}$ 处,分别对应与甲基不对称振动和亚甲基对称振动;推测图中位于

$2\,354\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰归属于醛基 ($-\text{CHO}$); 而羰基的吸收峰位于 $1\,870 \sim 1\,540\text{ cm}^{-1}$ 范围之内; 位于

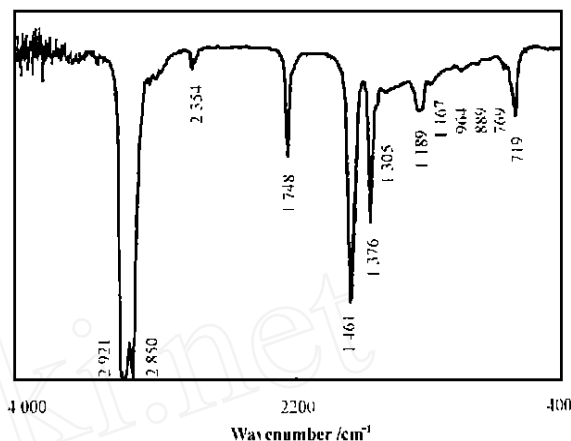


Fig 3 The infrared absorption spectrum of C_{60} -containing lubricant residue

图 3 油膜破裂后试验润滑油残液的红外光谱分析

$1\,748\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰归属于酯基; 位于 $1\,461\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰归属于甲基的不对称剪式振动及亚甲基的对称剪式振动; 而位于 $1\,376\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰归属于甲基的对称振动。由此可见,试样残液中不含新物质,表明试验所用的基础油和 C_{60} 添加剂在本文试验条件下具有较高的化学稳定性^[4]。

图 4 示出了极压负荷随 C_{60} 添加剂浓度 c 的变化

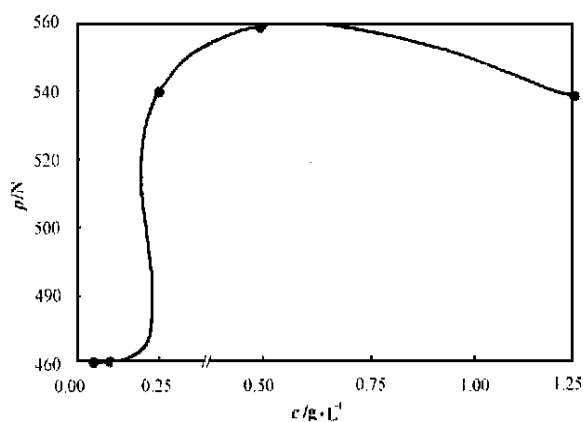


Fig 4 Variation in EP load of oil samples with additive concentration

图 4 含 C_{60} 添加剂的白油

润滑下极压负荷随添加剂浓度变化的关系曲线

关系曲线。可见,当 C_{60} 添加剂的浓度为 0.050 g/L 和 0.125 g/L 时相应的极压负荷相差不大;当 C_{60} 添加剂的浓度增大至 0.250 g/L 时,相应的极压负荷明显提高;而当 C_{60} 添加剂的浓度超过 0.250 g/L 时,相应

的极压负荷基本不变。我们认为C₆₀分子在钢球表面产生一定的吸附作用,当C₆₀分子在白油中的浓度过低时,则吸附在钢球上的C₆₀分子数量较少,难以形成完整的润滑膜,相应的润滑膜在较小的负荷下即发生破裂;当C₆₀添加剂的浓度增加至0.250 g/L时,吸附于钢球表面的C₆₀分子数量增加,吸附的C₆₀分子间的范德华力增大,相应的吸附膜强度较高,因此其相应

的润滑油膜的承载能力提高

图5所示为钢球磨斑直径随试验时间的变化关系曲线(载荷20 N)。可以看出,在低载荷下,加入C₆₀润滑剂对基础油的抗磨性影响不大

图6示出了含C₆₀的油样同美国密力特(MILITEC)公司及MG公司的2种商用润滑添加剂的对比试验结果。可以看出,含C₆₀油样的承载能力与

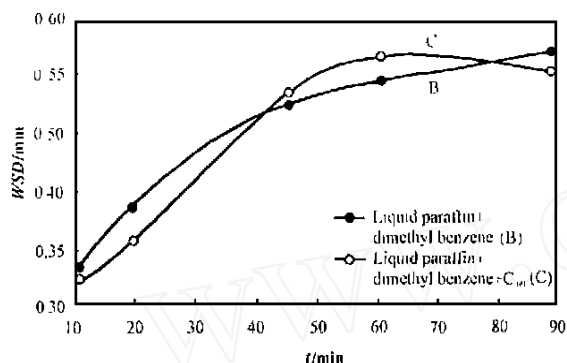


Fig 5 Variation in wear scar diameter with test duration at 20 N

图5 载荷20 N下
钢球磨痕直径随试验时间变化的关系曲线

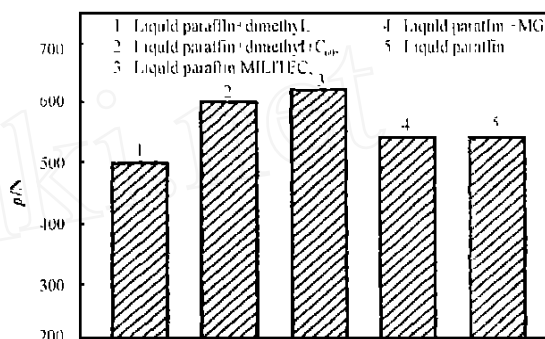


Fig 6 Comparison of extreme pressure properties of various additives in liquid paraffin

图6 C₆₀润滑添加剂
与其它润滑添加剂在液体石蜡中的极压性能对比

含M ilitec-1的油样相当,优于含MG的油样。我们预期,通过进一步改性处理,C₆₀可望成为一种优良的润滑油添加剂

3 结论

C₆₀作为一种润滑油添加剂,它溶于白油后能够形成吸附膜并覆盖于试验钢球表面,从而在在较高速度范围内发挥润滑作用;C₆₀浓度达到0.250 g/L时,吸附膜的强度基本维持恒定,此时进一步增大C₆₀添加剂的浓度对润滑性能影响不大;通过进一步改性处

理,C₆₀可望成为优良的润滑油添加剂

参考文献

- [1] 王例 浅谈巴基球[J]. 碳素, 1992, 3: 16
- [2] 陈安琪 巴基球的发现过程及研究新进展[J]. 化学通讯, 1991, 5: 24~31
- [3] 阎逢元, 金芝珊, 张绪寿, 等 C₆₀/C₇₀作为润滑油添加剂的摩擦学性能研究[J]. 摩擦学学报, 1993, 13 (1): 59~63
- [4] 夏齐伟, 张肇熙 红外技术高聚物结构分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 1995

Tribological Characteristics of C₆₀ as an Additive in Liquid Paraffin

LI Jibin¹, LI Han¹, SUN Weiran²

(1. School of Engineering and Technology, Shenzhen University;

2. School of Science and Technology, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: The effect of C₆₀ as additive on the antiwear and extreme pressure properties of liquid paraffin was investigated with a four-ball machine. The extreme pressure properties of C₆₀ additive and two exported commercial additives were comparatively examined on the four-ball machine as well. It has been found that C₆₀ as additive functions to improve the extreme pressure and lubricating properties of liquid paraffin at relatively higher rotation speed. It is anticipated that C₆₀ after proper modification could be a promising candidate as lubricating oil and grease additive.

Key words: C₆₀; additive; tribological behavior