

氟硅油高温性能的研究

Study of High Temperature Properties of Fluoro-Silicones

姜克娟 翟云世 (北京航空材料研究院)

Jiang Kejuan Zhai Yunshi (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 对氟硅油的高温性能,包括热氧化安定性、粘度-温度性能、高温蒸发损失、与橡胶的相容性、润滑性等进行了研究,并同国外同类产品 and 国内的酯类航空润滑油进行了比较。研究结果表明,氟硅油的热氧化安定性明显优于酯类油。通过加入合适的抗氧化剂,其热氧化安定性还可明显提高。

关键词 氟硅油 润滑油 高温性能

[Abstract] High temperature properties of fluoro-silicones, including oxidation stability, viscosity, evaporation losses, compatibility with rubbers and lubricity, was studied and compared with the same type oil at abroad and with the ester type oil at home. The results indicate that the oxidation stability of fluoro-silicones is higher than the ester type oil. The suitable antioxidant may improve its oxidation stability.

Keywords fluoro-silicones lubricating oil high temperature property

在合成润滑油中,甲基硅油具有优异的高低温性能,但因其润滑性差而影响了它的应用。通过引入氟元素,特别是氟,可以提高其润滑性,有希望作为航空涡轮发动机高温润滑油的候选液体^[1]。

为此,对国内几种不同组成、不同馏分的氟硅油进行了高温性能研究,包括高温热氧化安定性、粘度-温度性能、高温蒸发损失、与橡胶的相容性、润滑性等,并与国内的低粘度 I 型油-4109,中粘度 II 型油-4050和俄罗斯的氟硅油 -301进行了对比,以期对其高温性能有一个综合评价。

1 试验油样及试验方法

1.1 试验油样

所试氟硅油的基础油性质列于表1。

另外还有两个加抗氧化剂的油样: G-1为 G-3加抗氧化剂; G-2为 G-4加抗氧化剂。4109, 4050, -301油。

1.2 试验方法

1.2.1 热氧化安定性

试验按 SH-T 0450进行,空气流量为50ml/min。

1.2.2 粘度-温度性能

试验方法基本与 GB-T 265相同。测定高温粘度使用高温油浴和高温控制仪,用标准液校正粘度计。

表1 基础油的性质

Table 1 Properties of base oil

样品	分子量	氟含量/%	闪点/	凝点/
G-3	2393	25	261	< - 60
G-4	2398	19	262	< - 60
G-3A	647	25	-	< - 60
G-4A	523	19	-	< - 60

1.2.3 高温蒸发损失

试验按 GB-T 7325进行。试验中采取提高油浴温度的方法,使进入试油的热空气温度达到试验温度。

1.2.4 与橡胶的相容性

试验按 SH-T 0436方法进行。

1.2.5 润滑性

试验按 GB-T 12583方法进行。试验中测定磨痕直径和临界负荷。

2 结果与讨论

2.1 热氧化安定性

热氧化安定性是表征航空润滑油使用性能和等级的关键性指标。试验结果列于表2。

由表2可见,所试几种氟硅油的热氧化安定性明显优于4050油,它们在250℃下50h后的粘度变化最高才18.8%,而4050油在220℃下50h后粘度变化高

表2 氟硅油的热氧化安定性

Table 2 Oxidation stability of fluoro-silicones

试验 样品	试验 温度 /	试验 时间 /h	粘度变化 (40) / %	酸值变化 / mgKOH/ g	金属重量变化 / mg/ cm ²			
					钢	铜	铝	镁
4050	220	50	48. 4	2. 93	0. 07	-0. 10	无	无
-301			3. 7	0	无	无	无	无
-301			10. 8	0	0. 09	-0. 12	无	无
G-1	250	50	7. 6	0. 05*	无	无	无	无
G-3			15. 1	0. 03*	无	无	无	无
G-2			6. 6	0. 08*	无	无	无	无
G-4			17. 8	0. 03*	无	无	无	无
G-3A			9. 1	-	无	无	无	无
G-4A			18. 8	-	无	无	无	无

* 酸值

达48.4%，是前者的两倍多。说明所试氟硅油的耐热性能至少比4050油高30。

在G-3和G-4中加入合适的抗氧剂后（相应为G-1和G-2），它们的粘度变化分别由15.1%和17.8%降至7.6%和6.6%，即粘度变化减少了一半多，说明添加合适的抗氧剂可以明显提高氟硅油的热氧化安定性。

所试的加入抗氧剂的氟硅油的热氧化安定性不亚于俄罗斯的-301，即G-1和G-2的粘度变化均小于-301的粘度变化（试验证明，对硅油型化合物，粘度变化是判定其热氧化安定性的重要标志）。

2.2 粘度-温度性能

润滑油必须具有良好的粘度-温度性能，在高温要有适当的粘度以保证在摩擦部位有足够的油膜厚度，粘度（*v*）最低值要求不小于1mm²/s；在低温要能保证油泵顺利启动，其最高值一般在13000~17000mm²/s之间。几种氟硅油的高温粘度及粘度-温度性能列于表3。

表3 氟硅油的粘度（mm²/s）-温度特性

Table 3 Viscosity（mm²/s）-temperature properties of fluoro-silicones

油样 温度/	-301	G-3	G-4	G-3A	G-4A	4050	4109
260	1. 80*	3. 5*	2. 0*	-	-	(200) 1. 4*	(200) 1. 2 [#]
100	8. 69	18. 11	10. 76	-	-	5. 00	3. 74
40	25. 9	64. 2	35. 5	10. 0	5. 6	-	-
- 40	668	3785. 4	857. 2	910. 3	147. 2	9350 [#]	2819 [#]
- 50	1521. 6	11407. 4	1997. 8	3307. 9	350. 4	-	(- 54) 19060 [#]
粘度比 <i>v</i> ₄₀ / <i>v</i> ₂₆₀	14. 4	18. 3	17. 8	-	-	-	-
粘度比 <i>v</i> ₋₅₀ / <i>v</i> ₄₀	58. 7	178	56. 3	331	62. 6	-	-
粘度比 <i>v</i> ₄₀ / <i>v</i> ₁₀₀	76. 9	209	79. 7	-	-	1870	754

* 参考值；# 引用值

由表3可见，G-3和G-4的260 粘度大于1mm²/s。从260 至40，G-3、G-4和-301的粘度变化相当，粘度比分别为14.4mm²/s，18.3mm²/s和17.8mm²/s；从40 至-50，G-3和G-3A的粘度比很大，分别是G-4和G-4A的3.2倍和5.3倍，这可能和其分子结构中氟含量高，支链较多有关，因此其低温粘度相对较高。氟硅油的粘度温度性能明显优于酯类油。G-4的粘度和粘度-温度性能和-301相当。

2.3 高温蒸发损失

润滑油在航空涡轮发动机使用过程中由于受温度的影响会发生蒸发，使得油耗增大，粘度上升。润滑油应具有较小的蒸发损失。蒸发损失试验结果列于表4。

表4 氟硅油的蒸发损失

Table 4 Evaporation losses of fluoro-silicones

油样	-301	G-3	G-4	G-3A	G-4A
蒸发损失/ % (250 ， 6. 5h)	16. 8	17. 6	21. 5	99. 4	99. 9

可见 G-3和 G-4的高温蒸发损失和 -301相当。G-3A 和 G-4A 的高温蒸发损失几乎为 100%。由于润滑油的蒸发取决于基础油的组成，因此 G-3A 和 G-4A 是非理想组分。

2.4 与橡胶的相容性

润滑油应与发动机润滑系统的橡胶密封材料具有较好的适应性。氟硅油与标准氟橡胶的相容性试验结果列于表5。由于目前的标准氟橡胶耐温最高为200 左右，因此，本试验温度为204 。并与酯类油进行了比较。结果表明，氟硅油使标准氟橡胶稍有膨胀，试验后橡胶的机械性能基本没有变化。氟硅油对标准橡胶的浸蚀作用远低于酯类油，与 B -301相当。

表5 与标准氟橡胶相容性试验 (204 ， 72h)

Table 5 Compatibility test with standard fluoro rubbers

试样	硬度/邵尔	体积变化 / %	扯断强度 / MPa	扯断伸长率 / %
-301	78	0.6	19.4	270
G-1	79	1.4	18.8	240
G-2	79	0.6	18.5	260
4050油	68	14	14.6	250
橡胶原始值	78	-	18.6	260

2.5 润滑性

润滑油最基本的作用就是隔开两摩擦表面，减少摩擦表面的摩擦和磨损。润滑油应具有良好的抗磨性和极压性。氟硅油的润滑性列于表6。

表6 氟硅油的润滑性

Table 6 Lubricity of fluoro-silicones

油样 润滑性	BT-301	甲基硅油	G-1	G-2	G-4	G-3A	G-4A	4109	4050
磨痕直径 D ₃ /mm	1.03	1.77	0.69	0.90	0.87	0.84	0.96	0.44	0.57
临界负荷 P _B /kg	51	< 10	83	51	51	-	-	50	76

由表6可见，氟硅油的润滑性，包括抗磨性（磨痕直径）和极压性（临界负荷），明显优于甲基硅油，尤其是极压性能非常显著。

和酯类油相比，氟硅油的抗磨性较差，其磨痕直径约为酯类油的2倍；极压性比较接近。

所试氟硅油的润滑性和 -301相当。

3 结论

(1) 类似 G-3和 G-4的氟硅油，其热氧化安定性和粘度-温度性能明显优于酯类 II 型油，其使用温度高出酯类 II 型油30 以上，是一种较为理想的航空高温润滑油的候选油。

(2) G-3和 G-4氟硅油的润滑性中的抗磨性比酯类油差，尚需改进提高。

参考文献

1 徐敏. 航空涡轮润滑油应用. 北京: 石油工业出版社, 1997

高温铌合金的应用

国外60年代开始发展铌基合金，主要用于核设施和航空航天工业，现已在通讯卫星、人体成像设备和各种高温部件上得到应用。铌合金的特点是可在比镍基合金高数百度的温度下保持有效的强度，但氧化和长时蠕变敏感性限制了它的大量应用。

应用比较多的商业铌合金有 C-103 (Nb-10Hf-1Ti)、Nb-1Zr、PWC-11 (Nb-1Zr-0.1C)、WC-3009 (Nb-30Hf-9W)、FS-85 (Nb-28Ta-10W-1Zr) 等。C-103 熔点 2350 ，密度 8.85g/cm³；PWC-11 熔点 2410 ，密度8.57g/cm³；WC-3009密度为10.1g/cm³。

在1100~1500 的航空航天应用中，C-103合金用途广泛，它的强度高，很好的冷成形性和焊接性使它可被制成形状极复杂的构件，如推力锥和高温阀门。

由于 C-103基本上没有氧化抗力，其构件都要涂以硅化物涂层。硅化物涂层中除含有硅外，一般含有钨、铬、铁和镍。由于其热膨胀系数的明显差异，涂层中有大量微裂纹，幸而这些裂纹在高温使用中没有大的扩展。带涂层的 C-103成功地应用于 P&W 公司燃气涡轮发动机的加力燃烧室鱼鳞片。这些鱼鳞片位于发动机尾端，在加力燃烧室形成高温衬套，它们要在1200~1300 持续~100h。

铌合金也已评定用于美国国家空天飞机的高温部件，用于制造高超音速进气边缘和鼻锥，作为“热管”(heat pipe)热管理系统。“热管”概念的设计是把热区(如高超音速进气边缘)的极高热量通过辐射传到较冷区域。一个500g 的铌热管可以消散10kW 的热量，因而使其构件可在1250~1350 等温地工作。这些装置已成功地进行试验。

(全宏声)