

# 宽温域耐15<sup>#</sup>航空液压油氟硅橡胶性能的研究

雷海军,张骥忠,宫文峰,翟广阳,王鑫

(西北橡胶塑料研究设计院有限公司,陕西 咸阳 712023)

**摘要:**采用均聚氟硅橡胶和改性共聚氟硅橡胶,通过机械共混法制备宽温域氟硅橡胶,研究均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比对胶料物理性能、耐15<sup>#</sup>航空液压油性能及耐低温性能的影响。结果表明:随着改性共聚氟硅橡胶用量增大,胶料的硬度逐渐降低,拉伸强度变化很小,拉伸伸长率和拉伸永久变形逐渐增大但增幅不大,耐15<sup>#</sup>航空液压油性能有所降低,耐低温性能明显提高;当均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比为50/50时,胶料的脆性温度(多试样法)达到-64.7℃,在-50,-55,-60℃下的压缩耐寒系数分别达到0.51,0.44,0.39,低温回缩试验10%回缩率对应的温度达到-67.2℃;当均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比为70/30时,胶料的耐低温、耐15<sup>#</sup>航空液压油综合性能最佳,动密封圈在10个循环周期的台架试验中未出现泄漏、损伤和永久变形现象,在-60~150℃宽温域、15<sup>#</sup>航空液压油环境中具有良好的密封性能。

**关键词:**均聚氟硅橡胶;改性共聚氟硅橡胶;宽温域;密封;耐油性;耐低温性能

**中图分类号:**TQ333.93

**文章编号:**2095-5448(2022)03-0122-04

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12137/j.issn.2095-5448.2022.03.0122



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

液压作动器是飞机起落架控制系统的重要组成部分,其功能和性能是决定飞机起飞、着陆正常工作的关键影响因素。近年来,随着航空工业的发展,对液压作动器的密封性要求不断提高,其使用工况更加严苛,主要表现为多种极端环境,如-60℃极低温至150℃极高温的宽温域环境,密封压力达到28 MPa以上,维护周期延长,可靠性要求高<sup>[1-3]</sup>。目前用于液压作动器密封件的橡胶材料主要为丁腈橡胶(NBR)。NBR密封圈在135℃下长期工作时会快速老化,同时受热膨胀也会导致密封圈压缩量增大,进而使永久变形增大。在-55℃低温条件下,橡胶材料的低温结晶使橡胶分子链的柔顺性下降,弹性变差,导致密封的可靠性降低,因此在实际使用中不断出现由于液压作动器密封失效而导致漏油的情况<sup>[4-6]</sup>。

**作者简介:**雷海军(1968—),男,陕西澄城人,西北橡胶塑料研究设计院有限公司副总工程师,硕士,主要从事橡胶配方设计和密封制品的开发工作。

**E-mail:**lhjemail@163.com

氟硅橡胶具有比NBR更优良的耐油性,并且其有效工作温度范围可达-65~200℃,较NBR的-50~120℃具有更好的高、低温适应性。氟硅橡胶在-55℃条件下的压缩弹性是普通NBR的5~10倍,可提供良好的低温密封性能<sup>[7]</sup>。

本工作采用均聚氟硅橡胶和改性共聚氟硅橡胶,通过机械共混法制备宽温域氟硅橡胶,研究均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比对胶料物理性能、耐15<sup>#</sup>航空液压油性能及耐低温性能的影响,并通过典型密封台架试验验证氟硅橡胶密封圈在-60~150℃温度范围内、15<sup>#</sup>航空液压油环境中的密封可靠性。

## 1 实验

### 1.1 原材料

均聚氟硅橡胶和改性共聚氟硅橡胶,华东理工大学产品;气相法白炭黑,德国赢创德固赛公司产品;羟基氟硅油,浙江新安化工集团股份有限公司产品;三氧化二铁,上海一品颜料公司产品;氧

化铈,上海品盛化工有限公司产品;硫化剂双25,诺力昂化学品(宁波)有限公司产品。

### 1.2 配方

均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶 变量,气相法白炭黑 10,羟基氟硅油 2,三氧化二铁 3,氧化铈 2,硫化剂双25 0.8。

### 1.3 主要设备和仪器

JTC-752型开炼机,广东省湛江机械厂产品;XLB-D型平板硫化机,上海橡胶机械一厂有限公司产品;XHS型邵氏硬度计,营口市材料试验机厂产品;DXLL-2500型电子拉力机,深圳市新三思材料检测有限公司产品;402型热老化试验箱,上海第二五金厂产品;ZCY型低温测试仪,天津建议试验机有限责任公司产品。

### 1.4 试样制备

胶料混炼在开炼机上进行。混炼工艺为:将均聚氟硅橡胶和改性共聚氟硅橡胶包辊,混炼均匀后依次加入白炭黑、羟基氟硅油、三氧化二铁、氧化铈,左、右各割刀6次,混炼均匀后加入硫化剂双25,充分混炼,打卷5次,辊距调至3~4 mm,下片。

胶料分两段硫化,一段硫化在平板硫化机上进行,硫化条件为170 °C/10 MPa×10 min;二段硫化在烘箱中进行,硫化条件为200 °C×4 h。

### 1.5 性能测试

(1) 压缩耐寒系数按照HG/T 3866—2008《硫化橡胶 压缩耐寒系数的测定》进行测试。

(2) 其他各项性能均按照相应的国家标准进行测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 物理性能和耐油性

均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比对胶料物理性能及耐油性影响如表1所示。

从表1可以看出:随着改性共聚氟硅橡胶用量增大,胶料的硬度逐渐降低,拉伸强度变化很小,拉断伸长率和拉断永久变形逐渐增大但变化幅度不大;在120 °C的15#航空液压油中浸泡72 h后,胶料的硬度变化、拉伸强度变化率、拉断伸长率变化率和质量变化率大幅度增大,压缩永久变形增大但变化幅度不大。由于改性共聚氟硅橡胶是采用活性阴离子聚合,将物质的量相同的二甲基

表1 均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比对胶料物理性能及耐油性影响

项 目	均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比					
	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
邵尔A型硬度/度	80	79	79	77	76	74
拉伸强度/MPa	8.4	8.6	8.7	8.8	8.9	8.7
拉断伸长率/%	215	226	239	252	257	265
拉断永久变形/%	8	10	12	13	13	14
耐油性 <sup>1)</sup>						
邵尔A型硬度变化/度	-3	-6	-7	-8	-10	-13
拉伸强度变化率/%	-2.7	-6.1	-10.5	-14.8	-21.7	-26.8
拉断伸长率变化率/%	-7.8	-10.2	-11.6	-16.2	-20.2	-21.9
压缩永久变形 <sup>2)</sup> /%	16	14	16	18	18	22
质量变化率/%	4.2	6.8	9.2	11.4	13.6	16.3

注:1) 在120 °C的15#航空液压油中浸泡72 h;2) 压缩率为25%。

硅氧烷和 $\gamma$ -三氟丙基甲基硅氧烷与少量乙烯基硅氧烷共聚形成的嵌段共聚物,少量嵌段乙烯基硅氧烷的引入有利于提高均聚氟硅橡胶的耐低温性能,但是并用胶的耐油性比均聚氟硅橡胶有所降低。

### 2.2 耐低温性能

均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比对胶料脆性温度(多试样法)的影响如图1所示,对胶料低温压缩耐寒系数的影响如图2所示,对胶料低温回缩性能的影响如图3所示,其中 $T_{R10}$ 和 $T_{R70}$ 分别为10%和70%回缩率对应的温度。

从图1—3可以看出,随着改性共聚氟硅橡胶用量增大,胶料的脆性温度降低,低温压缩耐寒系数增大, $T_{R10}$ 和 $T_{R70}$ 降低,说明橡胶材料在低温下的弹性提高。当均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比为50/50时,胶料的脆性温度达到-64.7

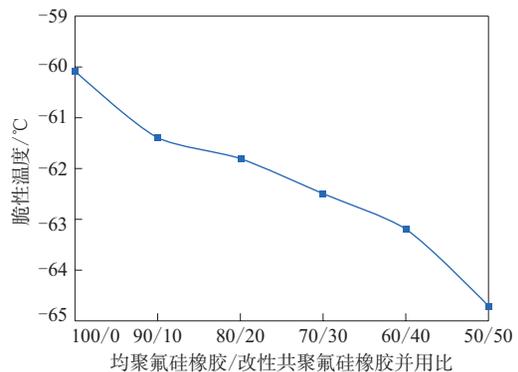


图1 均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比对胶料脆性温度的影响

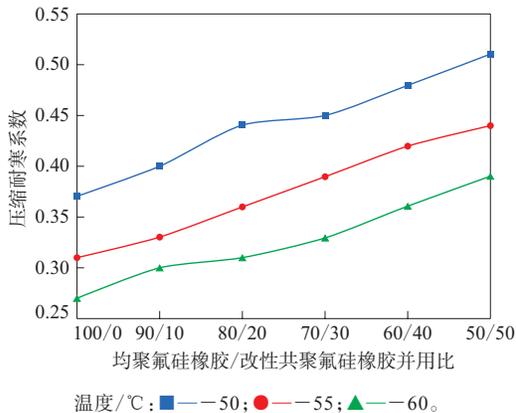


图2 均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比对胶料低温压缩耐寒系数的影响

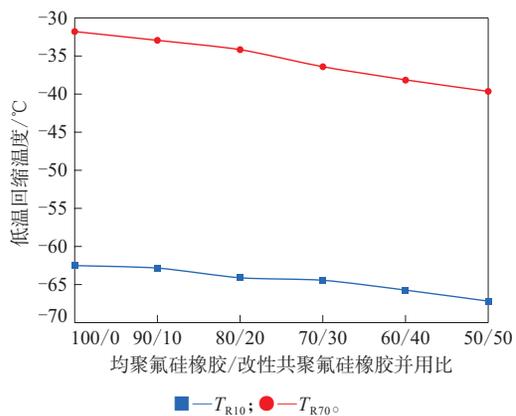


图3 均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比对胶料低温回缩性能的影响

℃, 在-50, -55, -60℃下的压缩耐寒系数分别达到0.51, 0.44, 0.39,  $T_{R10}$ 达到-67.2℃。这是由于改性共聚氟硅橡胶分子链中嵌入了乙烯基硅氧烷链节, 其一方面破坏了均聚氟硅橡胶分子链段的规整性, 打破结晶, 降低了结晶温度; 另一方面降低了橡胶分子链段的刚性, 提高了橡胶分子链的柔顺性。这两方面作用使并用胶能在更低温度下保持弹性, 从而有效提高耐低温性能。

结合胶料的物理性能及耐油性能可知, 当均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比为70/30时, 胶料性能兼顾了耐低温性能和耐15#航空液压油性能, 综合性能最佳。

### 2.3 密封圈台架试验

采用均聚氟硅橡胶/共聚氟硅橡胶并用比为70/30的配方制备宽温域氟硅橡胶混炼胶, 再加工成 $\phi 53 \text{ mm} \times 2.65 \text{ mm}$ 的动密封圈样件, 进行台架

试验, 试验条件为在15#航空液压油介质中, 打压21 MPa, 先进行150℃×72 h热老化, 再进行-60℃×4 h环境试验, 循环10次。

在整个试验过程中, 密封圈在低、高温状态下均未出现泄漏现象, 同时在环境试验后未发生损伤、永久变形现象, 从而验证了均聚氟硅橡胶/共聚氟硅橡胶并用比为70/30的胶料在-60~150℃宽温域、15#航空液压油环境中的密封可靠性。

### 3 结论

(1) 以均聚氟硅橡胶为主体并用改性共聚氟硅橡胶, 随着改性共聚氟硅橡胶用量增大, 胶料的硬度逐渐降低, 拉伸强度变化很小, 拉断伸长率和拉断永久变形逐渐增大但变化幅度不大。

(2) 均聚氟硅橡胶与改性共聚氟硅橡胶并用, 胶料的耐15#航空液压油性能有所降低。

(3) 均聚氟硅橡胶与改性共聚氟硅橡胶并用, 能够明显降低胶料脆性温度、大幅度提高低温压缩耐寒系数和低温回缩性能。

(4) 当均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比为70/30时, 胶料的耐低温、耐15#航空液压油综合性能最佳。

(5) 采用均聚氟硅橡胶/改性共聚氟硅橡胶并用比为70/30的胶料制备的动密封圈在10个循环周期的台架试验中具有在-60~150℃宽温域、15#航空液压油环境下的密封可靠性。

### 参考文献:

- [1] 周波, 侯学勤. 受油探头橡胶密封圈失效分析[J]. 失效分析与预防, 2011, 6(1): 40-43.
- [2] 许治国, 周安伟, 王晓英, 等. 橡胶密封圈密封性能预判方法研究[J]. 橡胶工业, 2016, 63(5): 297-300.
- [3] 陈晨. 飞机橡胶密封材料的发展及应用[J]. 橡塑技术与装备, 2015, 42(2): 46-57.
- [4] 吴健, 张传兵, 董吉义, 等. 表面缺陷对硅橡胶密封件接触特性的影响[J]. 橡胶工业, 2018, 65(4): 441-444.
- [5] 陆婷婷, 王维民. 橡胶O形密封圈研究发展综述[J]. 液压气动与密封, 2014, 34(10): 6-11.
- [6] 汪俊. 橡胶密封材料热氧老化及寿命评估研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [7] 王荣华, 李晖, 刘亚平, 等. 特种氟硅橡胶耐介质老化行为规律研究[J]. 材料导报, 2014, 28(4): 99-102.

收稿日期: 2021-09-24

## Study on Properties of Fluorosilicone Rubber with Good Resistance Against 15<sup>#</sup> Aviation Hydraulic Oil under Wide Temperature Range

LEI Haijun, ZHANG Jizhong, GONG Wenfeng, ZHAI Guangyang, WANG Xin

(Northwest Rubber and Plastic Research and Design Institute Co., Ltd, Xianyang 712023, China)

**Abstract:** The fluorosilicone rubber with good properties over a wide temperature range was prepared by mechanical blending of homopolymerized fluorosilicone rubber and modified copolymerized fluorosilicone rubber. The effects of the blending ratio on the physical properties, resistance against 15<sup>#</sup> aviation hydraulic oil and low temperature resistance of the compound were studied. The results showed that, with the increase of the amount of modified copolymerized fluorosilicone rubber, the hardness of the compound decreased gradually, the change of tensile strength was very small, the elongation at break and permanent deformation at break increased gradually, but the increase was small, the oil resistance decreased, and the low temperature resistance was improved significantly. When the blending ratio was 50/50, the brittleness temperature of the compound (multi-sample method) was  $-64.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , the compression coefficients at  $-50$ ,  $-55$  and  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  were 0.51, 0.44 and 0.39 respectively, and  $T_{R10}$  was  $-67.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . When the blending ratio of homopolymerized fluorosilicone rubber/modified copolymerized fluorosilicone rubber was 70/30, the rubber compound had the best balanced performance of low temperature resistance and 15<sup>#</sup> aviation hydraulic oil resistance, the dynamic sealing ring had no leakage, no damage or permanent deformation after 10 cycles in the bench test and showed good sealing performance in the wide temperature range of  $-60\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$  and 15<sup>#</sup> aviation hydraulic oil environment.

**Key words:** homopolymerized fluorosilicone rubber; modified copolymerized fluorosilicone rubber; wide temperature range; sealing; oil resistance; low temperature resistance

### 吉林石化乙丙橡胶X-3042新牌号产品 工业化试验成功

日前,吉林石化公司乙丙橡胶C装置年度首次切换牌号工作顺利完成,生产的X-3042新牌号产品指标合格,标志着该公司乙丙橡胶挤出型材用新产品工业化试验成功。

X-3042是吉林石化为打开中压电线电缆领域,进一步提高市场占有率研究开发的高乙烯含量、低门尼粘度、中亚乙基降冰片烯含量的三元乙丙橡胶新牌号产品。

研发人员深入开展市场调研,对标各种牌号乙丙橡胶电性能以及力学性能分析,多次进行小

试聚合研究,样品经相关电缆厂家测试合格后,最终确定了产品金属离子等控制指标,细化了生产配方,为工业化生产提供数据支持;针对该牌号产品门尼粘度低、乙烯含量高等特点,对工艺配方和聚合反应工艺控制条件做出了严格规范;针对试验过程中容易产生的聚合反应温度升高、压力降低较快等影响产品气味的问题,提前进行工艺风险预测,制定应急措施,并采取等比例减小催化剂进料量、适当提高压缩机三级出口压力、对聚合釜进行强制换热等有效方式,保证了工业化试验的顺利进行。

(张晓君 徐阳)

欢迎关注微信公众号“橡胶工业传媒”  
免费在线阅读最新6期电子刊