

高性能丙烯酸酯橡胶旋转油封的研发

魏海东,张瑞造

(浙江创城汽车零部件有限公司,浙江 绍兴 312300)

摘要:对高性能丙烯酸酯橡胶(ACM)旋转油封进行研发。结果表明:在ACM胶料中添加适量的石墨粉能够明显提高胶料的耐磨性能,且对耐油性能基本无影响,从而延长油封的使用寿命。本研发旋转油封胶料优化配方为ACM-ACL 100,炭黑N550 55,炭黑N220 15,石墨粉 10,硬脂酸 1,硬脂酸钾 0.8,硬脂酸钠 2.5,防老剂445 2,硫黄 0.4。油封采用两段硫化工艺,一段硫化在平板硫化机上进行,条件为170℃×10 min;二段硫化在烘箱中进行,条件为180℃×4 h。台架试验表明,本研发旋转油封使用寿命延长。

关键词:丙烯酸酯橡胶;旋转油封;台架试验;密封性能;耐磨性能;使用寿命

中图分类号:TQ333.97;TQ336.4⁺2

文章编号:2095-5448(2022)01-0022-04

文献标志码:A

DOI:10.12137/j.issn.2095-5448.2022.01.0022



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

旋转油封属于动态密封制品,在旋转运动中耐高温和耐油是旋转油封用胶料配方设计时需要考虑的主要性能指标^[1]。制造旋转油封常采用在温度和压力下都对流体介质有不同程度敏感性的橡胶,例如丁腈橡胶(NBR)^[2]、丙烯酸酯橡胶(ACM)、氟橡胶^[3-4]和硅橡胶^[5]。但是硅橡胶耐油性较差,NBR耐热性能较差,氟橡胶综合性能优异但价格昂贵,当油封的使用温度为120~150℃时,综合耐热性能、耐油性能和成本,基体橡胶一般选用ACM^[6]。

油封使用时受到被密封流体介质的浸蚀和溶胀,正常使用后期出现漏油,主要是油封唇口老化变硬,失去弹性和龟裂所致。油封性能和质量优劣最终表现在油封的密封性能和使用寿命上。因此,当油封断面结构确定后,胶料配方设计的合理性就至关重要。

本工作进行高性能ACM旋转油封胶料配方的优化,并对硫化工艺进行研究。

作者简介:魏海东(1989—),男,河南安阳人,浙江创城汽车零部件有限公司工程师,学士,主要从事汽车零部件橡胶配方的研究。

E-mail:471958761@qq.com

1 实验

1.1 主要原材料

ACM,牌号ACM-ACL,ACM-200,ACM-230,ACM-240,市售品;炭黑N550,卡博特公司产品;石墨粉,阜阳市利普化工有限公司产品。

1.2 基本配方

ACM 100,炭黑N550 60,硬脂酸 1,硬脂酸钾 0.8,硬脂酸钠 2.5,防老剂445 2,硫黄 0.4。

1.3 主要设备和仪器

KL-6型开炼机,佰弘机械(上海)有限公司产品;XLB 350×350×3型平板硫化机,青岛海能机械制造有限公司产品;UR2010SD型无转子硫化仪和UT-2080型电子拉力试验机,中国台湾优肯科技股份有限公司产品;LX-A型橡胶硬度计,上海六菱仪器厂产品;GT7017-ELU型精密高温试验机,中国台湾高铁科技股份有限公司产品;MZ-4061型阿克隆磨耗机和MZ-4005B型油封旋转性能试验机,江苏明珠试验机械有限公司产品。

1.4 试样制备

将ACM在开炼机上塑炼后包辊,然后依次加入硬脂酸、防老剂445、炭黑、硫化剂,混炼均匀后

薄通10次,下片。停放16 h后用无转子硫化仪测定硫化特性。试样在平板硫化机上进行一段硫化,硫化条件为170 ℃/10 MPa×10 min;在烘箱中进行二段硫化,硫化条件为(170~180) ℃×(4~8) h。

1.5 性能测试

硫化特性按照GB/T 16584—1996进行测试,测试条件为170 ℃×10 min;硬度按照GB/T 531.1—2008进行测试;拉伸性能按照GB/T 528—2009进行测试;耐热空气老化性能按照GB/T 3512—2014进行测试;高温压缩永久变形按照GB/T 7759.1—2015进行测试,测试条件为150 ℃×70 h,压缩率为25%;阿克隆磨耗量按照GB/T 1689—2014进行测试;耐介质油性能按照GB/T 1690—2010进行测试;模拟台架试验按照GB/T 13871.4—2007进行测试。

2 结果与讨论

2.1 ACM牌号的影响

ACM是以烷基酯为主要单体与少量带有可提供活性基团的单体共聚而得的弹性体,其主链为饱和碳链,侧链为极性酯基。ACM稳定的饱和结构和极性酯基赋予其许多优秀的特性。

ACM牌号众多,含不同交联单体的ACM加工时硫化体系亦不相同,据此可将ACM划分为含氯多胺交联型、不含氯多胺交联型、自交联型、羧酸铵盐交联型和皂交联型5类。其中皂交联型ACM所含交联单体活性很高,可用多种物质硫化,其中金属皂/硫黄硫化体系因硫化速度快、便于调节混炼和硫化工艺、加工安全简便、不挥发、不污染、不腐蚀模具、加工性能良好、无毒环保而受到广泛青睐。

分析国内外ACM产品,挑选出适合金属皂/硫黄硫化体系的4种不同牌号的ACM采用基本配方做性能对比试验,试验数据见表1。

从表1可以看出:ACM-ACL胶料的邵尔A型硬度和压缩永久变形最小,拉伸强度最大,拉断伸长率居中;ACM-200胶料的拉伸强度最小,拉断伸长率和压缩永久变形最大,且该胶料混炼时容易粘辊;ACM-240和ACM-230胶料的邵尔A型硬度最大,拉伸强度居中,拉断伸长率较小。通过对

表1 ACM牌号对胶料性能的影响

项 目	ACM牌号			
	ACM-ACL	ACM-240	ACM-230	ACM-200
硫化特性				
t_{10}/min	1.07	0.72	0.77	0.92
t_{90}/min	5.92	4.92	5.20	7.60
硫化胶性能 ¹⁾				
邵尔A型硬度/度	62	65	65	63
拉伸强度/MPa	11.00	10.24	10.03	9.38
拉断伸长率/%	272	232	228	387
压缩永久变形/%	47.4	52.9	49.3	63.2

注:1)二段硫化条件为180 ℃×4 h。

试验数据进行分析,并结合混炼工艺生胶吃料难易程度,本工作选用耐寒的低门尼粘度ACM牌号ACM-ACL。

2.2 补强剂的影响

ACM纯胶强度很低,需进行补强,但其分子链结构饱和,补强效果逊于二烯烃橡胶,通常采用各种细粒子高结构炉黑,以保证混炼工艺性能良好。为调节工艺性能及硫化胶物理性能,亦可将粒径不同的炭黑搭配使用。炭黑N550用量对胶料性能的影响如表2所示。

表2 炭黑N550用量对胶料性能的影响

项 目	炭黑N550用量/份			
	70	75	80	90
硫化特性				
t_{10}/min	1.05	0.97	1.05	1.00
t_{90}/min	6.63	6.62	6.67	6.60
硫化胶性能 ¹⁾				
邵尔A型硬度/度	70	73	77	80
拉伸强度/MPa	10.50	10.14	9.83	10.47
拉断伸长率/%	224	217	205	166
压缩永久变形/%	30.25	34.21	35.29	37.95

注:同表1。

从表2可知,随着炭黑N550用量的增大,胶料的硬度和压缩永久变形明显增大,拉断伸长率逐渐减小,拉伸强度变化不大。

根据以往油封配方设计经验,综合考虑,本研发采用炭黑N550和N220并用,并用比为55/15。

2.3 润滑剂的影响

油封唇口与轴接触面之间存在着很薄的一层很薄的粘附油膜,这层油膜可以起到密封流体的作用,同时有助于油封唇口与轴之间的润滑。油封在动态下经常处于流体润滑、边界润滑和干摩擦3种状态交替共存的环境,其中主要是流体润滑。为了提

高油封唇口的耐磨性能,通常在油封胶料配方中添加诸如二硫化钼、石墨粉之类的润滑剂,以保证油封唇口与轴的密封。

二硫化钼和石墨粉本身具有滑腻感,摩擦因数小,均可作为润滑和抗摩擦材料。二硫化钼的导热性能与石墨粉相比差,石墨粉由于其特殊结构,具有耐高温性能佳和热膨胀系数小等特点,油封唇口的温度是影响油封使用寿命的一个重要因素,因此本工作选择石墨粉作为润滑剂。石墨粉对胶料性能的影响如表3所示。

表3 石墨粉对胶料性能的影响

项 目	石墨粉用量/份	
	0	10
硫化特性		
t_{10}/min	1.10	1.02
t_{90}/min	6.82	7.20
硫化胶性能 ¹⁾		
邵尔A型硬度/度	73	75
拉伸强度/MPa	10.56	10.49
拉断伸长率/%	227	205
压缩永久变形/%	37.91	42.16
阿克隆磨耗量/ cm^3	0.043	0.020
150℃×70 h热空气老化后		
邵尔A型硬度变化/度	5	3
拉伸强度变化率/%	0.34	-1.12
拉断伸长率变化率/%	6.18	3.76

注:同表1。

从表3可知,添加石墨粉后,虽然胶料热空气老化后的硬度变化略有减小,压缩永久变形稍有增大,但耐磨性能明显提高,阿克隆磨耗量降低了53%。

油封工作时经常接触的介质是润滑油或机械油,胶料的耐油性能是保障油封正常工作的关键指标。因此对添加石墨粉的胶料进行耐油性能测试,并与未添加石墨粉的胶料进行了对比,结果如表4所示。

从表4可知,石墨粉对胶料耐油性能的影响微乎其微。

2.4 硫化工艺参数的影响

结构稳定的ACM难以交联,硫化反应速度很慢,单靠平板硫化机实现充分硫化的时间太长,效率低,需要先采用平板硫化机固定形状并避免出现气泡,再在烘箱中进行二段硫化来达到充分硫化。

表4 石墨粉对胶料耐油性能的影响

项 目	石墨粉用量/份		技术要求
	0	10	
邵尔A型硬度/度	73	75	75±5
拉伸强度/MPa	10.56	10.49	≥10
拉断伸长率/%	227	205	≥200
ATSM 901 [#] 油浸泡 ¹⁾ 后			
邵尔A型硬度变化/度	0	-1	-5~5
拉伸强度变化率/%	4.70	8.62	-15~15
拉断伸长率变化率/%	-4.63	-12.34	-35~35
体积变化率/%	1.91	1.92	-8~5
5W-30 [#] 油浸泡 ²⁾ 后			
邵尔A型硬度变化/度	-1	-2	-5~5
拉伸强度变化率/%	-1.52	-1.52	-20~20
拉断伸长率变化率/%	-8.89	-8.89	-30~30
体积变化率/%	0.56	0.54	0~5
ATSM 903 [#] 油浸泡 ¹⁾ 后			
邵尔A型硬度变化/度	-12	-13	-15~0
拉伸强度变化率/%	-5.31	-1.54	-40~40
拉断伸长率变化率/%	2.06	1.07	-15~15
体积变化率/%	12.54	12.42	0~20
ATSM 903 [#] 油浸泡 ²⁾ 后			
邵尔A型硬度变化/度	-17	-18	-20~0
拉伸强度变化率/%	-8.36	-4.02	-40~40
拉断伸长率变化率/%	-12.83	-11.12	-40~40
体积变化率/%	16.72	16.63	0~25

注:1) 150℃×70 h; 2) 150℃×168 h。

平板硫化和烘箱硫化的温度和时间参数设定均十分重要,平板硫化应控制适当的交联程度,硫化时间不宜过短,否则脱模后难以固定形状,平板硫化条件一般设定为170℃×10 min。二段硫化温度设置也不宜过高,如控制不当,可能引起油封内部结构的破坏。二段硫化条件对胶料性能的影响如表5所示。

表5 二段硫化条件对胶料性能的影响

项 目	二段硫化条件		
	170℃×4 h	180℃×4 h	180℃×8 h
邵尔A型硬度/度	75	75	75
100%定伸应力/MPa	5.3	5.1	5.2
拉伸强度/MPa	11.23	11.28	11.48
拉断伸长率/%	224	236	233
压缩永久变形/%	42.25	37.63	34.87

从表5可知,二段硫化条件对胶料的压缩永久变形影响较大,温度越高,硫化时间越长,压缩永久变形越小。

综合考虑各因素,本工作二段硫化条件选取180℃×4 h。

2.5 模拟台架试验

模拟台架试验可以在较短时间内观察、分析、比较油封的质量和使用寿命,是验证油封胶料配方开发成败的一项重要测试。油封模拟台架试验可根据产品的实际使用条件来设定台架试验条件,如温度、速度、压力、时间等,并可规定泄漏标准以观察和考核油封的使用寿命。本工作采用添加和未添加石墨粉2种胶料制造了油封试样进行模拟台架试验,试验参数设置如下:温度 140℃, 主轴转速 3 800 r·min⁻¹,压力 0~0.03 MPa。

未添加石墨粉的油封试样运行时间为430 h, 添加少量石墨粉的油封试样运行时间为510 h,表明添加少量石墨粉可以延长油封的使用寿命。

3 结论

(1) 在ACM胶料中添加适量的石墨粉能够明显提高胶料的耐磨性能,且对耐油性能基本无影响,从而延长油封的使用寿命。

(2) 旋转油封胶料优化配方为ACM-ACL

100,炭黑N550 55,炭黑N220 15,石墨粉 10,硬脂酸 1,硬脂酸钾 0.8,硬脂酸钠 2.5,防老剂445 2,硫黄 0.4;一段硫化条件为170℃×10 min,二段硫化条件为180℃×4 h。台架试验表明,本研发旋转油封使用寿命延长。

参考文献:

- [1] 张伟. 耐低温耐油材料应用及密封性研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2018.
- [2] 朱绪凯. 氢化丁腈动态油封的配方及性能研究[J]. 橡塑资源利用, 2019(2):1-6.
- [3] 青岛宝丰盛福华进出口密封件有限公司. 一种耐高温、耐油、耐磨氟橡胶旋转唇形密封圈及其制备方法[P]. 中国:CN 106633539A, 2017-05-10.
- [4] 马明智,向宇,张晓辉,等. 碳纳米管在氟橡胶旋转油封胶料中的应用[J]. 橡胶科技,2018,16(9):28-31.
- [5] 周宁琳,夏小仙. 改性硅橡胶耐油性能的研究[C]. 第九届中国有机硅学术交流会论文集. 杭州:中国氟硅有机材料工业协会,1998:170-173.
- [6] 傅家森,胡涛,阎浩,等. 丙烯酸酯橡胶/液体氟橡胶并用胶性能的研究[J]. 橡胶工业,2020,67(2):114-118.

收稿日期:2021-08-10

Development of High Performance Polyacrylate Rubber Rotary Oil Seal

WEI Haidong, ZHANG Ruizao

(Zhejiang Chuangcheng Auto Parts Co., Ltd, Shaoxing 312300, China)

Abstract: High performance polyacrylate rubber (ACM) rotary oil seal was developed in this study. The results showed that, adding appropriate amount of graphite powder to ACM compound could significantly improve the wear resistance of the compound, and basically had no effect on the oil resistance, thereby prolonging the service life of the oil seal. The optimized formula of rotary oil sealing compound was ACM-ACL 100, carbon black N550 55, carbon black N220 15, graphite powder 10, stearic acid 1, potassium stearate 0.8, sodium stearate 2.5, antioxidant 445 2, sulfur 0.4. A two-stage vulcanization process was adopted to cure the oil seal: the first stage vulcanization was carried out on the plate vulcanizing press at 170℃×10 min, and the second stage vulcanization was carried out in an oven at 180℃×4 h. The bench test showed that the service life of the developed rotary oil seal was prolonged.

Key words: polyacrylate rubber; rotary oil seal; bench test; sealing performance; wear resistance; service life

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