

产品·设计

丁腈橡胶耐磨密封制品的关键性能优化

祝孝天¹, 吕秀凤², 张保生³, 郭春杰²

[1. 株洲时代新材料科技股份有限公司, 湖南 株洲 412007; 2. 博戈橡胶塑料(株洲)有限公司, 湖南 株洲 412007; 3. 湖南弘辉科技有限公司, 湖南 株洲 412007]

摘要:从胶料配方、表面处理和材料复合改性3个方面优化丁腈橡胶(NBR)耐磨密封制品的关键性能。结果表明:单独使用4,4'-二硫代二吗啉(DTDM)作硫化剂时,NBR胶料的硫化时间较长,压缩永久变形较大,硫黄与硫化剂DTDM并用作硫化剂时,随着硫黄用量的增大,NBR胶料的硫化速度提高,交联密度增大,压缩永久变形先减小后增大,NBR胶料的优化配方为NBR 100,氧化锌 5,硬脂酸 1,炭黑N330 60,促进剂TBBS 1.5,硫化剂DTDM 1.5,硫黄 0.5;NBR胶料表面喷涂抗磨聚氨酯涂料无法在本质上减小其摩擦因数,但在NBR密封制品表面喷涂抗磨聚氨酯涂料可以降低制品在装配初期磨损的风险;NBR胶料与聚酯帘布或粘胶纤维帘布复合均可以改善其耐磨性能,其中聚酯帘布/NBR胶料复合材料的摩擦因数更小,较粘胶纤维帘布/NBR胶料复合材料减小44.04%,较表面未喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料减小45.72%。

关键词:丁腈橡胶;耐磨密封制品;优化配方;表面处理;材料复合;交联密度;压缩永久变形;摩擦因数

中图分类号:TQ333.7;TQ336.4⁺2

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2022)09-0697-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2022.09.0697



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

丁腈橡胶(NBR)具有优异的耐油性能及良好的物理性能和耐磨性能,其在工程机械橡胶制品领域应用广泛。迅速发展的现代工业希望NBR制品具有良好力学性能,同时对其耐磨性能提出了更高的要求^[1-3]。

橡胶耐磨密封制品多选择NBR为主体材料,在工作过程中NBR密封制品依靠自身变形与输送缸形成摩擦副,防止密封物质泄漏,但压缩永久变形和磨损均会导致NBR密封制品性能下降。因此,开展NBR密封制品的关键性能研究具有重要的现实意义和实用价值^[4-6]。研究^[7-9]表明,对NBR密封制品进行表面处理和材料复合改性,可以改善NBR密封制品的耐磨性能。

本工作从胶料配方、表面处理和材料复合改性3个方面研究NBR耐磨密封制品的关键性能的影响因素,以有助于NBR密封制品的耐久性能

改善。

1 实验

1.1 主要原材料

NBR,牌号1052M30,中国台湾南帝化学工业股份有限公司产品;4,4'-二硫代二吗啉(硫化剂DTDM),上海京海化工有限公司产品;抗磨聚氨酯涂料,天津市外星化工涂料有限公司产品;聚酯帘布,神马实业股份有限公司产品;粘胶纤维帘布,东莞市佳欣纺织有限公司产品。

1.2 主要设备与仪器

K-450型开炼机,宜兴阳昇机械有限公司产品;MDR2000型无转子硫化仪,美国阿尔法科技有限公司产品;HS100T-RTM-905型平板硫化机,佳鑫电子设备科技(深圳)有限公司产品;2.5 kN Zwicki型拉力机,德国ZwickRoell集团产品;dig

作者简介:祝孝天(1993—),男,山东菏泽人,株洲时代新材料科技股份有限公司助理工程师,硕士,主要从事橡胶制品的配方设计及工程化应用工作。

E-mail:zhuxt1@csrzc.com

引用本文:祝孝天,吕秀凤,张保生,等.丁腈橡胶耐磨密封制品的关键性能优化[J].橡胶工业,2022,69(9):697-703.

Citation: ZHU Xiaotian, LYU Xiufeng, ZHANG Baosheng, et al. Optimization of key properties of wear resistant NBR sealing product[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(9): 697-703.

test II型硬度计、digi Rebound回弹测试仪和ABM II型辊筒磨耗测试仪,德商博锐仪器(上海)有限公司产品;JZ-3026型压缩永久变形测试器,扬州市精卓试验机械厂产品;CREE-600型阿克隆磨耗测试仪,东莞科锐仪器科技有限公司产品;M2000型摩擦因数测试仪,济南普业机电技术有限公司产品。

1.3 试样制备

胶料按照常规混炼工艺在开炼机上进行混炼。混炼胶停放16 h后采用无转子硫化仪测试硫化特性。胶料采用平板硫化机硫化,硫化条件为 $160\text{ }^{\circ}\text{C}\times t_{90}$ 。

1.4 性能测试

(1) 硫化特性。硫化特性按照GB/T 16584—1996进行测试,测试温度为 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 物理性能。邵尔A型硬度按照GB/T 531.1—2008进行测试;拉伸性能和撕裂强度分别按照GB/T 528—2009和GB/T 529—2008进行测试,拉伸速率均为 $500\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$;回弹值按照GB/T 1681—2009进行测试;压缩永久变形按照GB/T 7759.1—2015进行测试,压缩率为25%,试验条件为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}\times 24\text{ h}$ 。

(3) 磨耗量和摩擦因数。DIN磨耗量按照GB/T 9867—2008进行测试;阿克隆磨耗量按照GB/T 1689—2014进行测试;摩擦因数按照GB/T 3960—2016进行测试,压力为196 N,圆环转速为 $200\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,试验时间为120 min,取试验最后20 min测试值的平均值。

2 结果与讨论

2.1 硫化体系对NBR胶料性能的影响

2.1.1 硫化剂DTDM用量的影响

硫化剂DTDM常在橡胶加工中被用作硫黄给予体使用,其分子结构式见图1。从硫化剂DTDM分子结构式可以看出,其在高温下可以分解出活性硫,并在硫化过程中形成以单硫键和双硫键为主的交联体系,使胶料获得良好的力学性能^[10-12]。

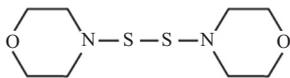


图1 硫化剂DTDM分子结构式

Fig.1 Molecular structure formula of vulcanizing agent DTDM

无硫化体系中硫化剂DTDM用量对NBR胶料硫化特性的影响见表1。

表1 硫化剂DTDM用量对NBR胶料硫化特性的影响
Tab.1 Effect of vulcanizing agent DTDM amounts on vulcanization characteristics of NBR compounds

项 目	硫化剂DTDM用量/份				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
$F_L/(\text{dN}\cdot\text{m})$	1.86	1.87	1.80	1.95	1.88
$F_{\max}/(\text{dN}\cdot\text{m})$	11.77	17.83	20.89	26.26	28.71
t_{10}/min	3.52	4.51	4.97	6.10	6.66
t_{90}/min	8.69	8.95	9.36	10.65	11.32

注:配方其余组分及用量为NBR 100,氧化锌 5,硬脂酸 1,炭黑N330 60,促进剂TBBS 1.5。

从表1可知,随着硫化剂DTDM用量的增大,NBR胶料的 F_{\max} 呈增大趋势, t_{10} 和 t_{90} 呈延长趋势。这是由于随着硫化温度的升高以及硫化时间的延长,硫化剂DTDM逐步分解生成活性硫,硫化剂DTDM用量增大则可生成的活性硫增多,胶料的交联密度增大,但生成活性硫所需要的时间也延长。

无硫化体系中硫化剂DTDM用量对NBR胶料物理性能的影响见图2。

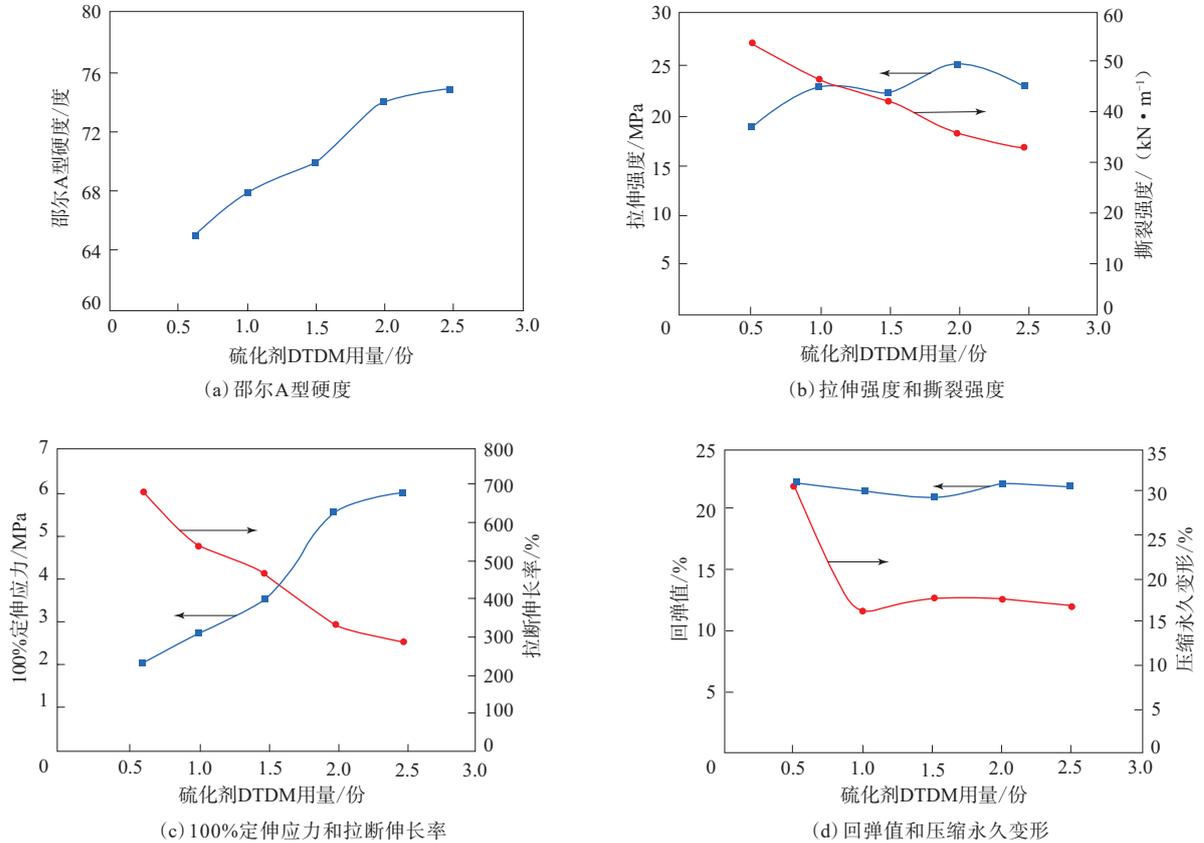
由图2(a)—(c)可知,随着硫化剂DTDM用量的增大,NBR胶料的硬度、定伸应力和拉伸强度呈提高的趋势,这是由于硫化剂DTDM用量增大会增大胶料的交联密度,但也会使橡胶分子链的柔顺性和运动能力下降,造成胶料在较小的外力作用下发生断链,宏观上则体现为拉伸伸长率和撕裂强度下降。

由图2(d)可知:随着硫化剂DTDM用量的增大,NBR胶料的压缩永久变形先迅速减小后略有增大,回弹值变化不大;当硫化剂DTDM用量为1份时,NBR胶料的压缩永久变形最小,为16%,这是由于适量添加硫化剂DTDM会在硫化过程中形成以单硫键和双硫键为主的交联体系(见表2)^[13],而高键能的单硫键和双硫键的破坏与重组需要更多的能量,使得NBR胶料的压缩永久变形较小。

综合各方面性能,无硫化体系NBR胶料的适宜硫化剂DTDM用量为1.5份左右。

2.1.2 硫黄用量的影响

单独使用硫化剂DTDM作为硫化剂时NBR胶料的硫化速度慢,硫化剂DTDM与少量硫黄并用时既能提高NBR胶料的硫化速度,又能使NBR胶



注同表1。

图2 硫化剂DTDM用量对NBR胶料物理性能的影响

Fig. 2 Effect of vulcanizing agent DTDM amounts on physical properties of NBR compounds

表2 硫化体系的配合与交联键构成特征对比

Tab. 2 Coordination of vulcanization systems and comparison of cross-linking bond composition characteristics

硫化体系	配合特点			交联键构成比例/%		
	硫黄用量/份	促进剂用量	硫黄给予体用量	多硫键	双硫键	单硫键
普通硫化体系	> 1.5	常量	无	50~70	40~60	0
半有效硫化体系	1.5~0.8	常量	部分代替硫黄	40~60	50~70	0
有效硫化体系	0	> 常量	全部代替硫黄	10~30	40~60	50~70

料具有更好的物理性能。在硫化剂DTDM用量为1.5份的无硫硫化体系中添加0~2份硫黄,研究硫黄用量对NBR胶料性能的影响。

硫黄用量对NBR胶料硫化特性的影响见表3。

从表3可知,随着硫黄用量的增大,NBR胶料的 t_{10} 和 t_{90} 逐渐缩短, F_{max} 逐渐增大。这是由于硫黄的加入会使NBR胶料在硫化初期获得较高的硫化速度,同时活性硫质量分数的增大会使NBR胶料的交联密度增大。

硫黄用量对NBR胶料物理性能的影响见

表3 硫黄用量对NBR胶料硫化特性的影响

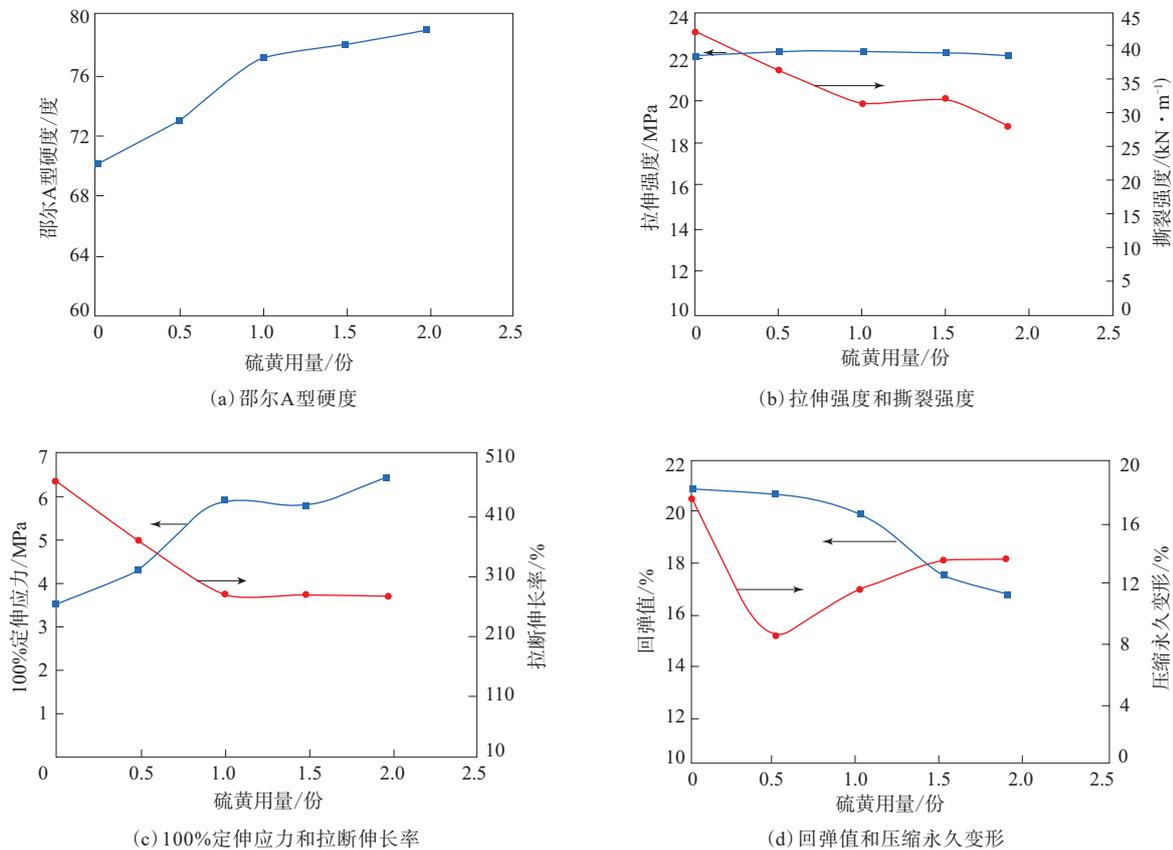
Tab. 3 Effect of sulfur amounts on vulcanization characteristics of NBR compounds

项 目	硫黄用量/份				
	0	0.5	1	1.5	2
$F_L / (dN \cdot m)$	1.80	1.65	1.93	1.68	1.77
$F_{max} / (dN \cdot m)$	20.89	26.66	32.45	34.27	36.03
t_{10} / min	4.97	3.52	2.75	2.52	2.33
t_{90} / min	9.36	8.08	5.93	5.06	4.78

注:配方其余组分及用量为NBR 100,氧化锌 5,硬脂酸 1,炭黑N330 60,促进剂TBBS 1.5,硫化剂DTDM 1.5。

图3。

由图3可知:随着硫黄用量的增大,NBR胶料



注同表3。

图3 硫黄用量对NBR胶料物理性能的影响

Fig. 3 Effect of sulfur amounts on physical properties of NBR compounds

的撕裂强度下降,回弹值减小,压缩永久变形呈现先减小后增大的趋势;当硫黄用量为0.5份时,NBR胶料的压缩永久变形为8%,较无硫硫化体系NBR胶料大幅减小。分析认为:NBR胶料的撕裂强度下降是由于硫黄用量的增大提高了胶料的交联密度;回弹值减小是由于硫黄用量的增大使胶料中多硫键比例增大;压缩永久变形主要受双硫键影响,双硫键键能高,键角大,其比例增大使压缩永久变形减小,但胶料中多硫键比例较大时会导致硫-碳键(键能 $289 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)较少、硫-硫键(键能 $268 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)较多^[13],压缩永久变形增大。

当硫黄用量为0.5份时NBR胶料的综合性能更优,即NBR胶料的优化配方为:NBR 100,氧化锌 5,硬脂酸 1,炭黑N330 60,促进剂TBBS 1.5,硫化剂DTDM 1.5,硫黄 0.5。

采用NBR胶料优化配方进行后续试验。

2.2 表面处理对NBR胶料摩擦性能的影响

表面处理可以提高橡胶材料表面的光滑程

度,改善耐磨性能。聚氨酯涂料与橡胶材料有很好的粘合性能,而聚氨酯分子间形成的氢键可以使聚氨酯漆膜具有耐磨性能、润滑性能和韧性^[14-20],因此在NBR胶料表面喷涂抗磨聚氨酯涂料可以改善NBR胶料的耐磨性能,减小胶料的摩擦因数。本研究采用无水乙醇擦拭NBR胶料表面,30 min后在NBR胶料表面喷涂抗磨聚氨酯涂料,最后将NBR胶料于 $(180 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C}$ 下烘烤5 min,室温下放置24 h。

表4和图4示出了表面处理对NBR胶料摩擦性能的影响。

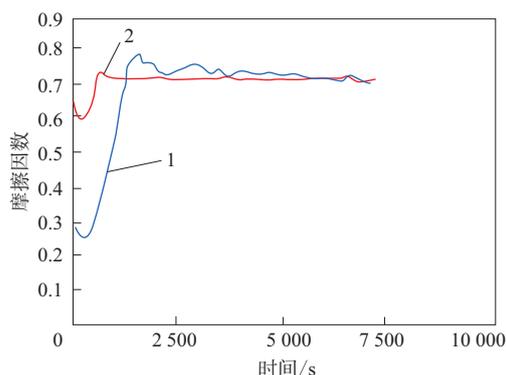
从表4可以看出,表面喷涂抗磨聚氨酯涂料对NBR胶料的DIN磨耗量与阿克隆磨耗量影响较小。

从图4可以看出,在摩擦因数测试初始阶段(0~1 200 s),表面喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料的摩擦因数明显小于表面未喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料,随着测试时间的延长,两种胶料的

表4 表面处理对NBR胶料摩擦性能的影响

Tab. 4 Effect of surface treatment on friction properties of NBR compounds

项 目	表面喷涂抗磨聚氨酯涂料	表面未喷涂抗磨聚氨酯涂料
DIN磨耗		
磨耗量/mm ³	160	152
磨耗指数	95	99
阿克隆磨耗量/cm ³	0.17	0.19
摩擦因数	0.775 2	0.748 7



1—表面喷涂抗磨聚氨酯涂料; 2—表面未喷涂抗磨聚氨酯涂料。

图4 NBR胶料的摩擦因数与时间的关系曲线

Fig. 4 Relationship curves between friction coefficients and time of NBR compounds

摩擦因数逐渐接近,经120 min测试结束后,表面未喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料的摩擦因数均值(6 000~7 200 s)为0.748 7,表面喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料的摩擦因数均值为0.775 2。由此可见,喷涂抗磨聚氨酯涂料的表面处理对NBR胶料的最终摩擦因数影响较小,这是由于抗磨聚氨酯涂料覆盖在NBR胶料表面,仅有少量的聚氨酯与胶料发生反应而形成化学交联的抗磨层,这种抗磨层的厚度仅为5 μm左右(如图5所示),容易被摩擦损耗。在NBR胶料的摩擦因数测试初始阶段,聚氨酯分子之间形成的氢键可以使聚氨酯漆膜具有耐磨性能、润滑性能和韧性,抗磨聚氨酯涂料层可以减小NBR胶料的摩擦因数,而一旦抗磨层被磨损,表面喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料的摩擦因数便与表面未喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料一致。这也是表面喷涂抗磨聚氨酯涂料对NBR胶料的DIN磨耗量和阿克隆磨耗量影响较小的原因,但表面喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料完成摩擦因数测试后未发生表面的破坏性损伤,如图6所示。

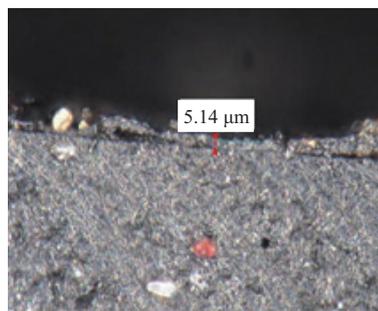


图5 NBR胶料的表面涂层厚度

Fig. 5 Surface coating thickness of NBR compound



(a) 表面喷涂抗磨聚氨酯涂料



(b) 表面未喷涂抗磨聚氨酯涂料

图6 摩擦因数测试后NBR胶料的状态

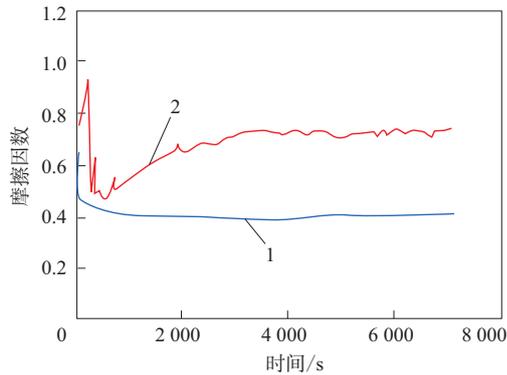
Fig. 6 States of NBR compounds after friction factor test

因此,尽管表面喷涂抗磨聚氨酯涂料无法在本质上减小NBR胶料的摩擦因数,但在NBR耐磨密封制品表面喷涂抗磨聚氨酯涂料可以降低制品在装配初期发生磨损的风险。

2.3 材料复合改性对NBR胶料摩擦性能的影响

吴新国等^[21]研究表明,织物的耐磨性能要优于橡胶材料,将NBR胶料与聚酯帘布或粘胶纤维帘布进行复合改性,将橡胶材料摩擦行为转化为帘布摩擦行为,可以提高橡胶密封制品的耐磨性能,减小摩擦因数。本试验将织物与NBR胶料压延制成覆胶帘布,再将覆胶帘布与NBR胶料粘合硫化,制得摩擦因数测试复合材料。

粘胶纤维帘布/NBR胶料和聚酯帘布/NBR胶料复合材料的摩擦因数如图7所示。



1—聚酯帘布/NBR胶料复合材料; 2—粘胶纤维帘布/NBR胶料复合材料。

图7 帘布/NBR胶料复合材料的摩擦因数
Fig. 7 Friction coefficients of cord/NBR compound composites

由图7可知,聚酯帘布/NBR胶料复合材料和粘胶纤维帘布/NBR胶料复合材料的摩擦因数均小于NBR胶料或表面喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料,其中聚酯帘布/NBR胶料复合材料的摩擦因数均值(6 000~7 200 s)为0.406 4,较粘胶纤维帘布/NBR胶料复合材料减小44.04%,较表面未喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料减小45.72%。这是由于织物的摩擦因数小于橡胶材料,且聚酯帘布较粘胶纤维帘布的帘线密度更大、捻度更高、挺性更好、耐磨性能更优,因此聚酯帘布/NBR胶料复合材料的摩擦因数更小。

3 结论

(1)单独使用DTDM作为硫化剂时,NBR胶料的硫化时间较长,压缩永久变形较大;硫黄与硫化剂DTDM并用作硫化剂时,随着硫黄用量的增大,NBR胶料的硫化速度提高,交联密度增大,压缩永久变形先减小后增大。NBR胶料的优化配方为:NBR 100,氧化锌 5,硬脂酸 1,炭黑N330 60,促进剂TBBS 1.5,硫化剂DTDM 1.5,硫黄 0.5。

(2)NBR胶料表面喷涂抗磨聚氨酯涂料无法在本质上减小其摩擦因数,但在NBR密封制品表面喷涂抗磨聚氨酯涂料可以降低制品在装配初期磨损的风险。

(3)NBR胶料与聚酯帘布或粘胶纤维帘布复合可以改善其耐磨性能,其中聚酯帘布/NBR胶料复合材料的摩擦因数更小,较粘胶纤维/NBR胶料复合材料减小44.04%,较表面未喷涂抗磨聚氨酯涂料的NBR胶料减小45.72%。

参考文献:

- [1] 杨清芝. 现代橡胶工艺学[M]. 北京:中国石化出版社,1997.
- [2] TAN J H, WANG X P, TAI J J. Novel blends of acrylonitrile butadiene rubber and polyurethane-silica hybrid networks[J]. Express Polymer Letters, 2012, 6(7): 588-600.
- [3] 鄢定祥,徐家壮,李忠明. 丁腈橡胶改性研究进展[J]. 广东橡胶, 2009(5): 7-12.
YAN D X, XU J Z, LI Z M. Research progress in modification of nitrile rubber[J]. Guangdong Rubber, 2009(5): 7-12.
- [4] 林原. 氢化丁腈橡胶及其在冶金、汽车及油田行业橡胶密封中的应用[J]. 润滑与密封, 1999, 24(5): 66-68.
LIN Y. Hydrogenated nitrile rubber and its application in rubber sealing in metallurgy, automobile and oilfield industries[J]. Lubrication Engineering, 1999, 24(5): 66-68.
- [5] 杨勇顺,缪惠娟,沈雪. 不同硫化体系对丁腈橡胶压缩疲劳温升的影响[J]. 世界橡胶工业, 2009, 36(7): 41-43.
YANG Y S, MIAO H J, SHEN X. Effect of different vulcanization systems on temperature rise of NBR during compression fatigue[J]. World Rubber Industry, 2009, 36(7): 41-43.
- [6] SHEN M X, PENG X D, MENG X K, et al. Fretting wear behavior of acrylonitrile-butadiene rubber (NBR) for mechanical seal applications[J]. Tribology International, 2016, 93: 419-428.
- [7] 谢彦飞,张友南,唐先贺,等. 耐寒丁腈橡胶密封制品配方的研究[J]. 特种橡胶制品, 2004, 25(5): 14-16, 19.
XIE Y F, ZHANG Y N, TANG X H, et al. Formulation of low-temperature resistance NBR for sealing product[J]. Special Purpose Rubber Products, 2004, 25(5): 14-16, 19.
- [8] 王运平,任长安,孟江燕. 氟碳涂层改进丁腈橡胶表面耐油性[J]. 失效分析与预防, 2010, 5(1): 1-3, 20.
WANG Y P, REN C A, MENG J Y. Modified oil-resistance property of NBR with fluorocarbon coating[J]. Failure Analysis and Prevention, 2010, 5(1): 1-3, 20.
- [9] 傅念清,王云英,孟江燕,等. 冷等离子体处理工艺对丁腈橡胶表面性能的影响[J]. 表面技术, 2016, 45(12): 117-123.
FU N Q, WANG Y Y, MENG J Y, et al. Effects of cold plasma treatment process on surface properties of acrylonitrile-butadiene rubber[J]. Surface Technology, 2016, 45(12): 117-123.
- [10] 翁国文,聂恒凯,陈陆安,等. 硫化剂DTDM在NBR中应用的探讨[J]. 世界橡胶工业, 2007, 34(7): 8-14.
WENG G W, NIE H K, CHEN L A, et al. Study on application of vulcanizing agent DTDM in NBR[J]. World Rubber Industry, 2007, 34(7): 8-14.
- [11] 连加松. 硫化剂DTDM在橡胶中的应用[J]. 世界橡胶工业, 2003, 30(3): 14-16, 20.

- LIAN J S. Application of vulcanizing agent DTDM in rubber[J]. World Rubber Industry, 2003, 30(3): 14-16, 20.
- [12] 谷国. NBR/EPDM共混胶性能研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2009.
- [13] 蒲启君, 顾铭育, 张建国. 硫化剂DTDM的抗硫化返原性能[J]. 橡胶工业, 2007, 54(7): 408-411.
- PU Q J, GU M Y, ZHANG J G. Anti-reversion of curative DTDM[J]. China Rubber Industry, 2007, 54(7): 408-411.
- [14] 韩珩, 王世杰, 吕晓仁, 等. 表面氧化改性对丁腈橡胶力学性能的影响[J]. 沈阳工业大学学报, 2013, 35(6): 662-666.
- HAN H, WANG S J, LYU X R, et al. Effect of surface oxidation modification on mechanical properties of nitrile rubber[J]. Journal of Shenyang University of Technology, 2013, 35(6): 662-666.
- [15] 路永明. 聚氨酯橡胶和丁腈橡胶-镍基喷焊层摩擦副湿磨粒磨损试验研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1991, 15(5): 127-131.
- LU Y M. Investigation of wet abrasion wear of rubber sliding pairs sputtered Ni coating[J]. Journal of the university of Petroleum, China (Natural Science Edition), 1991, 15(5): 127-131.
- [16] 田雪梅, 乔红斌, 古绪鹏, 等. 特种丁腈橡胶耐磨性能研究[J]. 化工新型材料, 2013, 41(3): 133-135.
- TIAN X M, QIAO H B, GU X P, et al. Wear properties of special nitrile butadiene rubbers[J]. New Chemical Materials, 2013, 41(3): 133-135.
- [17] 童壮根, 谢苏江, 钱寅国, 等. 金属涂覆丁腈橡胶密封板材的研究[J]. 润滑与密封, 2009, 34(1): 87-89.
- TONG Z G, XIE S J, QIAN Y G, et al. Development of nitrile rubber-metal composite sealing material[J]. Lubrication Engineering, 2009, 34(1): 87-89.
- [18] 杨子芹, 刘卫卫, 杨小兵, 等. 纳米填料改性丁基橡胶复合材料的力学性能、芥子气防护性能和燃烧性能[J]. 复合材料学报, 2009, 26(6): 25-30.
- YANG Z Q, LIU W W, YANG X B, et al. Mechanical properties, mustard protection and flammability of nanofillers reinforced isobutylene-isoprene rubber composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2009, 26(6): 25-30.
- [19] 丁奎. 丁腈橡胶/聚氯乙烯/改性蒙脱土纳米复合材料的制备、结构与性能[D]. 广州: 华南理工大学, 2004.
- [20] 颜晋钧. 氢化丁腈橡胶的应用及现状[J]. 橡胶科技市场, 2008, 6(10): 11-13.
- YAN J J. Application and present situation of hydrogenated nitrile rubber[J]. China Rubber Science and Technology Market, 2008, 6(10): 11-13.
- [21] 吴新国, 解晓花, 刘承刚. 低摩擦丁腈橡胶复合材料配合及摩擦性能研究[J]. 特种橡胶制品, 2011, 32(1): 40-47.
- WU X G, XIE X H, LIU C G. Study on coordination and friction properties of low friction NBR composites[J]. Special Purpose Rubber Products, 2011, 32(1): 40-47.

收稿日期: 2022-05-19

Optimization of Key Properties of Wear Resistant NBR Sealing Product

ZHU Xiaotian¹, LYU Xiufeng², ZHANG Baosheng³, GUO Chunjie²

[1. Zhuzhou Times New Material Technology Co., Ltd, Zhuzhou 412007, China; 2. BOGE Rubber & Plastics (Zhuzhou) Co., Ltd, Zhuzhou 412007, China; 3. Hunan Honghui Technology Co., Ltd, Zhuzhou 412007, China]

Abstract: The key properties of the wear resistant nitrile butadiene rubber (NBR) sealing product were optimized from three aspects: compound formulation, surface treatment and material composite modification. The results showed that, when 4, 4'-dithiodimorphine (DTDM) was used alone as the vulcanizing agent, the vulcanization time of the NBR compound was long and the compression set was large. When sulfur and vulcanizing agent DTDM were blended as the vulcanizing agent, with the increase of sulfur content, the vulcanization speed of the NBR compound increased, the crosslinking density were improved, and the compression set first decreased and then increased. The optimized formula of the NBR compound was as follows: NBR 100, zinc oxide 5, stearic acid 1, carbon black N330 60, accelerator TBBS 1.5, vulcanizing agent DTDM 1.5, sulfur 0.5. On the other hand, spraying the anti-wear polyurethane coating on the surface of the NBR compound could not substantially reduce its friction coefficient, but spraying the anti-wear polyurethane coating on the surface of the NBR sealing product could reduce the risk of wear of the product at the initial stage of assembly. Moreover, the NBR compound composited with polyester cord or viscose fiber cord could improve its wear resistance. The friction coefficient of the polyester cord/NBR composite was lower, which was 44.04% lower than that of the viscose fiber/NBR composite, and 45.72% lower than that of the NBR compound without the anti-wear polyurethane coating.

Key words: NBR; wear resistant sealing product; optimized formula; surface treatment; material composite; crosslinking density; compression set; friction coefficient