

工艺·设备

双驱同步橡胶齿轮泵式滤胶机滤网孔径对胎侧胶性能的影响

隋志华,郝英杰,孙作栋,邱健,闫理智,朱东林,李利,汪传生,边慧光*

(青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061)

摘要:采用一种双驱同步橡胶齿轮泵式滤胶机对轮胎胎侧胶进行过滤,研究滤网孔径对胎侧胶性能的影响。结果表明:经过过滤的胶料的性能优于未过滤的胶料,且采用孔径0.070 mm(200目)滤网过滤的胶料的硫化特性、物理性能和耐屈挠性能最优,Payne效应最弱,动态力学性能较好;与未经过滤的硫化胶相比,采用0.070 mm孔径滤网过滤的硫化胶的拉伸强度提高33.0%,撕裂强度提高33.3%,平均龟裂等级降低3级。

关键词:双驱同步橡胶齿轮泵式滤胶机;滤网孔径;胎侧胶;动态力学性能;耐屈挠性能

中图分类号:TQ330.4⁺2

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2024)03-0222-05

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2024.03.0222



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

轮胎胎侧胶是指胎侧外帘布层上的胶层,其作用是防止胎体受机械损伤、氧化及潮湿^[1-2]。为了降低胎侧胶的龟裂等级,常用的方法是在胎侧胶中并用顺丁橡胶及加入环保芳烃油^[3]和防护蜡^[4]等助剂,但这也在不同程度上提高了轮胎的成本,因此需要一种低成本并且可以用于规模化生产的方法来提高胎侧胶的性能。

清除胶料中的杂质可以有效改善胶料的性能,传统的橡胶滤胶机利用螺杆的推挤和输送作用去除胶料中的杂质^[5]。橡胶滤胶机中常见的过滤装置有以下几种:带磁性的装置可以有效去除胶料中的金属颗粒杂质^[6],在出料口两侧分别设置的可自动更换过滤机头的装置可以有效过滤胶料,带有扭力弹簧的过滤装置适用于硅橡胶胶料的过滤^[7]。虽然上述滤胶方法都取得了一定的进展,但经过过滤的胶料的性能仍有待提高。

齿轮泵是由两个齿轮、泵体与前后盖组成的两个封闭空间,齿轮转动时,齿轮脱开侧的空间体

积增大,形成真空,将物料吸入,齿轮啮合侧的空间体积减小,将物料挤入管路中,从而给物料施加压力^[8-9]。

本工作设计一种双驱同步橡胶齿轮泵式滤胶机(见图1),借助齿轮泵的增压原理对胎侧胶进行挤出和过滤,并研究滤网孔径对胎侧胶性能的影响。

1 实验

1.1 原材料

充油溶聚丁苯橡胶(SSBR,牌号1205)和顺丁橡胶(BR,牌号2000),日本旭化成化学有限公司产品;白炭黑,索尔维(中国)化工有限公司产品;氧化锌、促进剂CBS和促进剂DPG,阿拉丁试剂(上海)有限公司产品;硬脂酸,国药集团化学试剂有限公司产品;防老剂4020,上海成锦化工有限公司产品;偶联剂Si69,连云港锐巴化工有限公司产品;硫黄,巴斯夫(中国)有限公司产品;国标304不锈钢

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51345006);山东省重点研发计划项目(2019GGX102018);山东省自然科学基金资助项目(ZR2016XJ003);青创科技计划项目(2019KJB007)

作者简介:隋志华(1995—),男,山东潍坊人,青岛科技大学在读硕士研究生,主要从事高分子材料加工技术的研究。

***通信联系人**(bianhuiguang@163.com)

引用本文:隋志华,郝英杰,孙作栋,等.双驱同步橡胶齿轮泵式滤胶机滤网孔径对胎侧胶性能的影响[J].橡胶工业,2024,71(3):222-226.

Citation:SUI Zhihua,HAO Yingjie,SUN Zuodong,et al.Effect of filter apertures of dual drive synchronous rubber gear pump rubber filter on properties of sidewall compound[J].China Rubber Industry,2024,71(3):222-226.



图1 双驱同步橡胶齿轮泵式滤胶机

Fig. 1 Double drive synchronous rubber gear pump rubber filter

钢滤网,上海嘉羽五金筛网有限公司产品。

1.2 主要设备和仪器

X(S)0.3型密炼机,青岛科技大学产品;SK-168型开炼机,上海双翼橡塑机械有限公司产品;QLB-400×400×2型平板硫化机,青岛亚东橡机有限公司产品;MM4130C型无转子硫化仪,中国台湾高铁科技股份有限公司产品;UM-2050型门尼粘度仪和TS2005b型拉力试验机,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;RPA2000型橡胶加工分析(RPA)仪,美国阿尔法科技有限公司产品;GABOMETER-150型动态力学分析(DMA)仪,德国GABO公司产品;DH-2050QZ型德墨西亚屈挠龟裂试验机,弘浦仪器(中国)有限公司产品。

1.3 试验配方

胶料的试验配方(用量/份)为:SSBR 103, BR 25,白炭黑 80,偶联剂Si69 12.5,氧化锌 2.5,硬脂酸 2,防老剂4020 2,硫黄 1.4,促进剂CBS 1.7,促进剂DPG 2。

1.4 试样制备

混炼胶采用两段混炼工艺。一段混炼在密炼机中进行,冷却水温度为40℃,转子转速为 $65\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,填充因数为0.65,压砣压力为0.65 MPa,混炼工艺为:加入SSBR,塑炼25 s;加入BR,混炼40 s;加入2/3白炭黑,混炼30 s;加入氧化锌、硬脂酸、防老剂4020、偶联剂Si69和剩余1/3白炭黑,混炼45 s,混炼胶温度到达150℃时排胶。二段混炼在开炼机上进行,辊温为 $(50\pm 5)^\circ\text{C}$,混炼工艺为:加入一段混炼胶、促进剂CBS、促进剂DPG和硫黄,将辊距调至最小,薄通5次,在4 mm辊距下出片。

混炼胶停放24 h后,将其裁剪成宽度约为5 cm

的胶条,在齿轮泵式滤胶机中进行过滤,螺杆转速为 $30\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,齿轮泵转速为 $25\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,机筒温度为70℃,齿轮泵温度为70℃,胶料经过滤网一次过滤,将未经过滤的胶料和经过孔径为0.250 mm(60目),0.150 mm(100目),0.100 mm(150目),0.075 mm(200目)和0.050 mm(300目)的滤网过滤的胶料分别记为1[#]—6[#]胶料,1[#]—6[#]胶料对应的齿轮泵的出口压力分别为10,13,16,20和25 MPa。

混炼胶在平板硫化机上进行硫化,硫化条件为 $160^\circ\text{C}/10\text{ MPa}\times 3t_{90}$ 。

1.5 测试分析

(1) 门尼粘度。按照GB/T 1232.1—2016进行测试,测试3个平行样,取平均值。

(2) 硫化特性。按照GB/T 16584—1996进行测试,测试温度为150℃。

(3) 物理性能。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,测试5个平行样,取平均值。

(4) RPA分析。应变扫描温度为60℃,应变扫描频率为0.01 Hz,应变范围为0.28%~40%,测试3个平行样,取中值。

(5) DMA分析。采用拉伸模式,扫描频率为10 Hz,静态应变为5%,静态应力为70 N,动态应变为0.25%,动态应力为60 N,温度范围为-65~65℃,升温速率为 $2^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

(6) 耐屈挠性能。按照GB/T 13934—2006进行测试,屈挠10万次,测试10个平行样,记录断裂试样的数量及未断裂试样的平均龟裂等级。

2 结果与讨论

2.1 门尼粘度和硫化特性

混炼胶的门尼粘度和硫化特性见表1。

从表1可以看出:与未经过滤的1[#]混炼胶相比,经过过滤的2[#]—6[#]混炼胶的门尼粘度增大, t_{10} 延长, t_{90} 缩短, $F_{\max}-F_L$ 增大;随着滤网孔径的增大, t_{10} 先延长后缩短, t_{90} 先缩短后延长, $F_{\max}-F_L$ 先增大后减小;采用0.070 mm孔径滤网过滤的5[#]混炼胶的 t_{10} 最长,加工安全性最好, t_{90} 最短,硫化反应速度最快, $F_{\max}-F_L$ 最大,交联程度最高。这说明经过0.070 mm孔径滤网过滤的5[#]混炼胶的橡胶大

表1 混炼胶的门尼粘度和硫化特性
Tab. 1 Mooney viscosities and vulcanization characteristics of compounds

项 目	混炼胶编号					
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
门尼粘度[ML (1+4) 100 ℃]	50	51	53	54	54	54
F_L /(dN·m)	2.73	2.85	2.94	3.24	3.58	3.28
F_{max} /(dN·m)	28.94	29.42	29.63	30.30	31.01	30.39
$F_{max}-F_L$ /(dN·m)	26.21	26.57	26.69	27.06	27.43	27.11
t_{10} /min	0.73	1.34	1.56	1.62	1.80	1.54
t_{90} /min	19.04	18.75	18.14	17.32	16.57	17.64

表2 硫化胶的物理性能
Tab. 2 Physical properties of vulcanizates

项 目	硫化胶编号					
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
邵尔A型硬度/度	77	76	76	76	74	75
100%定伸应力/MPa	2.18	2.45	2.63	2.81	3.02	2.84
300%定伸应力/MPa	10.02	11.42	12.67	13.93	15.73	13.83
300%定伸应力/100%定伸应力	4.60	4.66	4.82	4.96	5.21	4.87
拉伸强度/MPa	11.2	12.8	13.3	13.9	14.9	13.9
拉断伸长率/%	296	327	364	383	418	386
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	39	42	45	49	52	49

强度均先增大后减小;与1[#]硫化胶相比,采用0.070 mm孔径滤网过滤的5[#]硫化胶的拉伸强度达到14.9 MPa,提高了33.0%,撕裂强度达到52 kN·m⁻¹,提高了33.3%;与0.070 mm孔径滤网过滤的5[#]硫化胶相比,采用0.050 mm孔径滤网过滤的6[#]硫化胶的拉伸强度和撕裂强度减小,但仍高于未经过过滤的硫化胶。这是因为采用0.070 mm孔径滤网过滤时,胶料中的杂质与团聚的填料和小料等均被滤出,有利于提升硫化胶的物理性能,同时橡胶大分子链排布更加均匀,橡胶大分子链之间的范德华力增大,链段不易滑动,这也使硫化胶的拉伸强度和撕裂强度等在不同程度上增大;采用0.050 mm孔径滤网也可以过滤掉胶料中的杂质与团聚的填料和小料等,但由于滤网的孔径太小,过滤胶料的橡胶大分子链排布被打乱,导致硫化胶的拉伸强度和撕裂强度减小。

2.3 RPA分析

硫化胶的储能模量(G')-应变曲线见图2。

从图2可以看出:经过过滤的2[#]—6[#]硫化胶形成的填料网络比未经过过滤的1[#]硫化胶更发达;随着应变的增大,硫化胶的 G' 呈下降趋势,这一结果符合Payne效应。Payne效应与填料网络中橡胶大分子链的缠结相关,由于未经过过滤的硫化胶的

分子链排布更加均匀,有助于支链之间的结合,提高了硫化胶的交联密度,而0.050 mm孔径滤网的孔径过小,在过滤胶料时会打乱橡胶大分子链排布,减小交联网络密度,降低混炼胶的硫化特性。

2.2 物理性能

硫化胶的物理性能见表2。

从表2可以看出:与未经过过滤的1[#]硫化胶相比,经过过滤的2[#]—6[#]硫化胶的物理性能显著提高;随着滤网孔径的增大,硫化胶的100%定伸应力、300%定伸应力、拉伸强度、拉断伸长率和撕裂

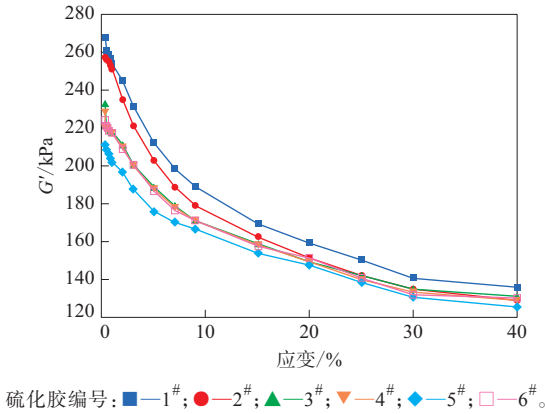


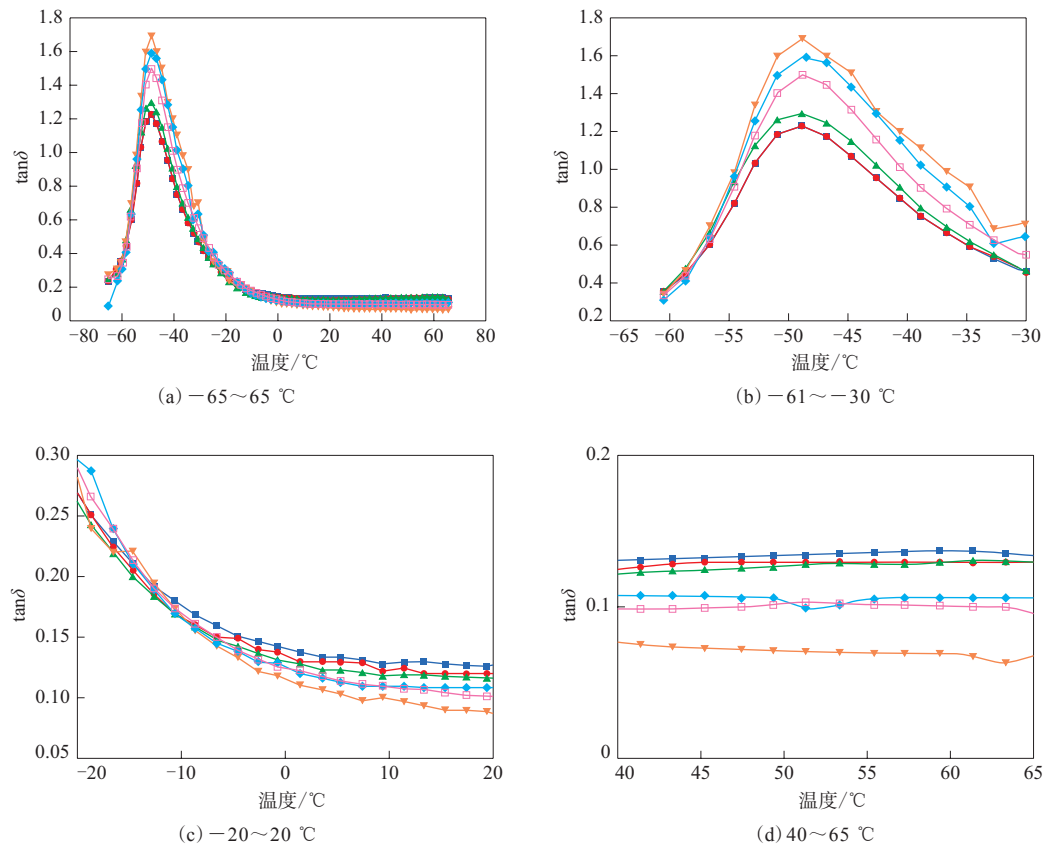
图2 硫化胶的 G' -应变曲线

Fig. 2 G' -strain curves of vulcanizates

橡胶大分子链分布杂乱且填料分布不均,所以其初始模量最高,而经过过滤的硫化胶的初始模量显著降低,这说明经过过滤的硫化胶的橡胶大分子网络为有序排布,这也有助于提高硫化胶的结构强度,且采用0.070 mm孔径滤网过滤的5[#]硫化胶的初始模量最低,填料网络化程度最高,Payne效应最弱。

2.4 DMA分析

硫化胶在不同温度范围内的损耗因子($\tan\delta$)-温度曲线如图3所示。



注同图2。

图3 硫化胶的tanδ-温度曲线
Fig.3 tanδ-temperature curves of vulcanizates

图3中曲线的峰值所对应的温度为硫化胶的玻璃化温度(T_g)。从图3(b)可以看出,采用0.070 mm孔径滤网过滤的硫化胶的曲线峰值最高,即 T_g 最高,这在于该硫化胶的橡胶大分子堆积紧密。

0℃时的tanδ可以用来表征硫化胶的抗湿滑性能,tanδ越大,硫化胶的抗湿滑性能越好;60℃时的tanδ可以用来表征硫化胶的滚动阻力,tanδ越小,硫化胶的滚动阻力越小。实际生产中,轮胎的滚动阻力、抗湿滑性能和耐磨性能被称为“魔鬼三角”,即对于一个轮胎而言,这3个性能不能同时改善,如果要改善其中1或2个性能,另一个性能必然变差。从图3(c)和(d)可以看出,0和60℃时的tanδ从大到小均依次为1[#],2[#],3[#],5[#],6[#]和4[#]硫化胶,即采用0.070 mm孔径滤网过滤的5[#]硫化胶的抗湿滑性能和滚动阻力均较好。这是因为采用0.070 mm孔径滤网过滤的硫化胶的橡胶大分子链展开,橡胶大分子链由伸展恢复到蜷曲的过程中,其粘弹性增加,表现出较好的抗湿滑性能,同时由于过

滤掉胶料中的杂质与团聚的填料和小料增强了橡胶基体与填料之间的相互作用,从而降低了滚动阻力。而采用0.050 mm孔径滤网过滤的6[#]硫化胶的橡胶大分子链排布被打乱,加剧了橡胶大分子链的蜷曲,导致硫化胶的粘弹性下降和橡胶基体与填料之间的相互作用减弱。

2.5 耐屈挠性能

硫化胶的耐屈挠性能见表3。

表3 硫化胶的耐屈挠性能
Tab.3 Flexibility resistance of vulcanizates

项 目	硫化胶编号					
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
断裂试样数量	5	4	4	3	2	4
未断裂试样的平均龟裂等级	5	3	3	2	2	3

从表3可以看出,采用0.070 mm 孔径滤网过滤的5[#]硫化胶的断裂试样最少,未断裂试样的平均龟裂等级与采用0.100 mm 孔径滤网过滤的4[#]硫化胶相同,且最低,这是因为采用0.070 mm孔径滤网

过滤的5[#]硫化胶的橡胶大分子链分布更均匀,橡胶大分子链之间的范德华力更大,硫化胶内的杂质与团聚的填料和小料较少,从而提高了硫化胶的耐屈挠性能。

3 结论

(1)采用双驱同步橡胶齿轮泵式滤胶机过滤胎侧胶,经过过滤的胶料的性能优于未经过滤的胶料,且采用0.070 mm孔径滤网过滤的胶料的硫化特性、物理性能和耐屈挠性能最优,Payne效应最弱,动态力学性能较好。

(2)与未经过滤的硫化胶相比,采用0.070 mm孔径滤网过滤的硫化胶的拉伸强度提高33.0%,撕裂强度提高33.3%,平均龟裂等级降低3级。

参考文献:

- [1] 刘华侨,潘弋人,王晓明,等.炭黑品种及用量对胎侧胶耐屈挠性能的影响[J].橡胶工业,2019,66(8):581-586.
LIU H Q, PAN Y R, WANG X M, et al. Effects of type and addition level of carbon black on flexing resistance of sidewall compound[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(8): 581-586.
- [2] XU Y, JIA J H, ZHANG G G, et al. Effect of rubber substrates on the flexibility and tribological properties of diamond-like carbon coatings[J]. Surface & Coatings Technology, 2021, 422: 127526.
- [3] 宋丽媛,张剑平,王日国,等.环保芳烃油填充改性反式-1,4-丁二烯-异戊二烯共聚橡胶的研究[J].高分子通报,2018(4):44-52.
SONG L Y, ZHANG J P, WANG R G, et al. Modification of *trans*-1,4-poly(butadiene-co-isoprene) copolymer rubber (TBIR) with environment-friendly aromatic oil (TDAE) [J]. Chinese Polymer Bulletin, 2018(4): 44-52.
- [4] 王诗凝,冯杰,张文博,等.改性防护蜡对轮胎胎侧胶性能的影响[J].橡胶科技,2020,18(2):94-97.
WANG S N, FENG J, ZHANG W B, et al. Effect of modified protective wax on the properties of sidewall compound of tire[J]. Rubber Science and Technology, 2020, 18(2): 94-97.
- [5] 韩富城.橡胶滤胶机[P].中国:CN 02233640.0,2003-04-09.
- [6] 颜炳华,曾信智. Device having multi-pores magneto-rubber filter[P]. 中国台湾:TW 095101311,2007-07-16.
- [7] 吴学臣.硅橡胶滤胶机[P].中国:CN 207789440U,2018-08-31.
- [8] 李玉龙,孙付春,姚旗,等.航天器用超低黏度齿轮泵轻量化设计[J].农业工程学报,2016,32(21):109-114.
LI Y L, SUN F C, YAO Q, et al. Lightweight design of gear pumps with ultra low viscosity medium used in spacecraft[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(21): 109-114.
- [9] 李泽汉.基于齿轮泵的短纤维增强橡胶复合材材料挤出成型机理及实验研究[D].青岛:青岛科技大学,2018.
LI Z H. Mechanism and experimental research on extrusion molding of short fiber reinforced rubber composite materials based on gear pumps[D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2018.

收稿日期:2023-10-27

Effect of Filter Apertures of Dual Drive Synchronous Rubber Gear Pump Rubber Filter on Properties of Sidewall Compound

SUI Zhihua, HAO Yingjie, SUN Zuodong, QIU Jian, YAN Lizhi, ZHU Donglin, LI Li,
WANG Chuansheng, BIAN Huiguang

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: A dual drive synchronous rubber gear pump rubber filter was used to filter the tire sidewall compound, and the effect of the filter apertures on the properties of the sidewall compound was studied. The results showed that the properties of the filtered compound were better than those of the unfiltered compound, and the compound filtered with filter of 0.070 mm aperture (200 mesh) had the best vulcanization characteristics, physical properties and flexibility resistance, the weakest Payne effect, and better dynamic mechanical properties. Compared with unfiltered vulcanizate, the vulcanizate filtered with filter of 0.070 mm aperture had a 33.0% increase in tensile strength, a 33.3% increase in tear strength, and a 3-level decrease in average cracking level.

Key words: dual drive synchronous rubber gear pump rubber filter; filter aperture; sidewall compound; dynamic mechanical property; flexibility resistance