

应用理论

白炭黑结构对胎面胶性能的影响

唐瀚滢, 王丽丽

(中国石化北京化工研究院燕山分院 橡塑新型材料合成国家工程研究中心, 北京 102500)

摘要:从堆积状态和比表面积两方面研究不同结构白炭黑对胎面胶性能的影响。结果表明:对于相同堆积状态、不同比表面积的白炭黑,白炭黑的比表面积越大,其填充胶料的混炼温升越高,混炼功率越大,加工难度也越大;随着白炭黑的比表面积增大、初生粒径减小,白炭黑的团聚体增多,分散性变差;对于相同比表面积($200 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)、不同堆积状态的白炭黑,气相法白炭黑A200在橡胶基体中的分散性最好,沉淀法白炭黑200MP的分散性次之,沉淀法白炭黑200GR的分散性最差;相比于沉淀法白炭黑200MP和200GR,气相法白炭黑A200可以同时增强和增韧硫化胶,并减小硫化胶的滚动阻力和磨耗量,但是硫化胶的抗湿滑性能较差。

关键词:白炭黑;胎面胶;结构参数;堆积状态;比表面积;分散性;混炼;动态力学性能

中图分类号:TQ330.38⁺3

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2022)07-0490-09

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2022.07.0490



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着化石资源的日益枯竭和人们环保意识的逐渐提高,欧盟、美国和日本等相继制定和实施了轮胎标签法规,推进轮胎行业进入绿色化新时期^[1-3]。白炭黑作为炭黑的优质替代品在绿色轮胎的生产过程中占据日益重要的地位,其优点在于:

(1)生产原料不来源于石油或者煤炭,不依赖化石资源^[3-5]; (2)可以降低轮胎的滚动阻力和行驶噪声,提高轮胎的抗湿滑性能和耐磨性能,对于减小能源消耗、降低油耗、提高行车安全性以及延长轮胎使用寿命具有重要意义^[6-11]。

绿色轮胎概念可追溯到20世纪70年代初,由于石油危机的影响,研究人员选择白炭黑作为填料替代炭黑从而降低对于石油的依赖。S. WOLFF等研究发现,在轮胎胎面胶中用白炭黑和硅烷偶联剂替代炭黑,可以有效降低轮胎的滚动阻力,具有节能减排的优势,这为绿色轮胎的发展提供了理论基础^[12-13]。1992年法国米其林公司推出第1代GREEN X轮胎,从而正式提出绿色轮胎的概念。2009年,欧盟率先制定了欧盟轮胎标签

法,并从2012年11月开始实施,我国也在2016年采用与欧洲相同的标准制定了轮胎标签法。随着轮胎标签法的推行,绿色轮胎概念逐渐得到普及,白炭黑对炭黑的替代也日益增多。2019—2028年全球绿色轮胎用白炭黑的销售额预计以7.2%的复合年均增长率增长^[3]。

目前市售白炭黑的主要制备方式为气相法和沉淀法^[13]。气相法主要通过利用四氯化硅在氢气和氧气火焰中反应制备白炭黑。反应过程中,四氯化硅在氢气和氧气焰中形成小的球状液滴,这些小液滴经过碰撞、融合而形成大液滴,并在冷却过程中形成簇状团聚体。沉淀法则是将硅酸钠稀溶液加酸反应,形成具有反应活性的硅酸,通过离子交换的方式除去钠离子,然后通过成核、生长的过程形成稀溶胶而制备白炭黑。两种方法制得的白炭黑的粒径、表面羟基含量以及堆积形态结构均具有较大差异,各结构参数对轮胎胎面胶的加工性能和应用性能的影响并不明确。

本工作选取8个牌号白炭黑,测试其对于胎面

作者简介:唐瀚滢(1989—),女,辽宁沈阳人,中国石化北京化工研究院燕山分院副研究员,博士,主要从事橡胶复合材料性能的研究。

E-mail:tanghy. bjhy@sinopec.com

引用本文:唐瀚滢,王丽丽.白炭黑结构对胎面胶性能的影响[J].橡胶工业,2022,69(7):490-498.

Citation: TANG Hanying, WANG Lili. Effect of silica structure on properties of tread compound[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(7): 490-498.

胶加工性能和应用性能的影响,并从比表面积和堆积形态结构的角度考察白炭黑结构参数与胎面胶性能之间的关系,为轮胎配方设计提供参考。

1 实验

1.1 原材料

溶聚丁苯橡胶(SSBR),牌号2636,结合苯乙烯含量为26%,乙烯基含量为63%,门尼粘度[ML(1+4)100℃]为62,充油量为37.5份;顺丁橡胶(BR),牌号9000,中国石油化工股份有限公司燕山分公司产品。气相法白炭黑,牌号A200和A380,进口产品。沉淀法白炭黑,牌号115MP,165MP,200MP,115GR,165GR和200GR,国产产品。炭黑N330,青岛福德贸易有限公司提供。偶联剂Si69,南京曙光化工有限公司产品。环保芳烃油(TDAE),新达洋(宁波)有限公司产品。氧化锌、硬脂酸、聚乙二醇(PEG4000)、防老剂4010、液体石蜡、硫黄、促进剂D、促进剂TBBS,市售品。

1.2 配方

SSBR 103, BR 25, 白炭黑 77, 炭黑N330 5, 偶联剂Si69 6.2, 氧化锌 2.5, 硬脂酸 2.00, PEG4000 5.6, TDAE 8, 防老剂4010 2, 液体石蜡 1, 硫黄 1.4, 促进剂D 1.7, 促进剂TBBS 1.9。

1.3 试样制备

混炼胶制备。一段和二段混炼在密炼机中进行。一段混炼密炼室初始温度为70℃,转子转速为 $90\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,混炼工艺为:将SSBR/BR加入密炼机中塑炼30 s,加入1/4白炭黑混炼30 s,再加入1/4白炭黑混炼30 s,然后加入1/4白炭黑、偶联剂Si69和氧化锌,混炼150 s,最后加入剩余的白炭黑、炭黑、硬脂酸、PEG4000、TDAE、防老剂4010和液体石蜡,当胶料温度达到150℃保持5 min后排胶,一段混炼胶停放4 h。二段混炼密炼室初始温度为40℃,转子转速为 $60\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,混炼工艺为:一段混炼胶混炼30 s,加入硫黄、促进剂D和TBBS混炼240 s后排胶,胶料在开炼机上薄通3次后下片,开炼机辊温为室温。二段混炼胶停放12 h。

硫化胶制备。试样硫化温度为160℃,压力为15 MPa,硫化时间为 t_{90} 。物理性能测试试样厚度为2 mm,动态力学性能测试试样厚度为1 mm。

1.4 测试与表征

(1)混炼加工性能:根据密炼机混炼过程中胶料的混炼温度及混炼功率随时间的变化趋势评价。

(2)门尼粘度:按照GB/T 1232.1—2016,采用中国台湾高铁检测仪器有限公司生产的GT-7080-S2型门尼粘度计进行测试。

(3)应变扫描:采用美国阿尔法科技有限公司生产的RPA2000橡胶加工分析仪对胶料进行应变扫描,应变范围0.7%~100%,频率1 Hz,温度60℃。

(4)硫化特性:按照GB/T 16584—1996,采用高铁检测仪器(东莞)有限公司生产的GT-M2000A型无转子硫化仪进行测试,测试温度为160℃。

(5)分散性:采用扫描电子显微镜(SEM)观察硫化胶脆断断面的状态,采用炭黑分散度仪测试白炭黑的分散等级。

(6)硬度:按照GB/T 531.1—2008,采用营口市材料试验机有限公司生产的TH210型邵氏硬度计进行测试。

(7)拉伸性能和撕裂强度:分别按照GB/T 528—2009和GB/T 529—2008,采用日本岛津公司生产的AG-20KNG型材料试验机进行测试,试验机选用2 kN力传感器,拉伸速率为 $500\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$,测试温度为 $(23\pm 2)^\circ\text{C}$,拉伸试样的有效部分长度和宽度分别为25和6 mm,撕裂试样采用裤形试样。每组试样5个,取5次平行试验结果的平均值。

(8)回弹值:按照GB/T 1681—2009,采用中国台湾高铁仪器检测有限公司生产的GT-7042-RE型橡胶弹性试验机进行测试。

(9)DIN磨耗量:按照GB/T 9867—2008,采用中国台湾高铁仪器检测有限公司生产的GT-7012-D型DIN磨耗仪进行测试。

(10)压缩疲劳温升:按照GB/T 1687.3—2016,采用北京友深电子仪器有限公司生产的RH-2000型橡胶压缩生热试验机进行测试,试验冲程4.45 mm,负荷1 MPa,温度55℃,时间25 min。

(11)动态力学性能:温度扫描在德国GABO公司生产的EPLEXOR 500N型动态热力学分析(DMA)仪上进行,采用拉伸夹具,频率11 Hz,温

度范围 $-80\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, 升温速率 $3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, 静态应变 1% , 动态应变 0.25% 。

2 结果与讨论

2.1 白炭黑性质

8种白炭黑的主要结构参数如表1所示。

表1 8种白炭黑的主要结构参数
Tab. 1 Main constructure parameters of 8 kinds of silica

白炭黑牌号	堆积形态	比表面积/ $(\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1})$
A200	粉末状	194
A380	粉末状	383
115MP	微珠状	115
165MP	微珠状	165
200MP	微珠状	207
115GR	颗粒状	116
165GR	颗粒状	165
200GR	颗粒状	213

从表1可以看出,不同牌号白炭黑的堆积状态和比表面积存在较大差异。

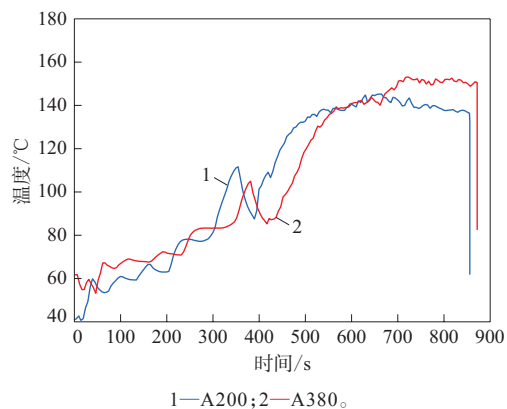
图1示出比表面积均为 $200\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ 左右的A200, 200MP和200GR的外观, A200堆积形态呈蓬松粉末状, 粉末之间结合较为松散; 200MP堆积形态呈微珠状, 微珠之间彼此独立且几乎不存在粘结状态; 200GR堆积形态呈颗粒状, 存在粘结成块现象, 块体较紧实, 较难重新破碎。



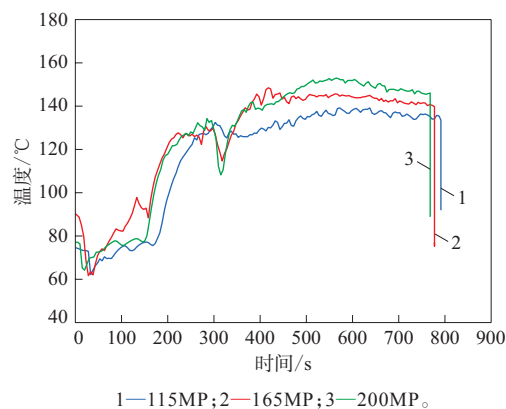
图1 白炭黑的表现状态
Fig. 1 Appearances of silicas

2.2 加工性能

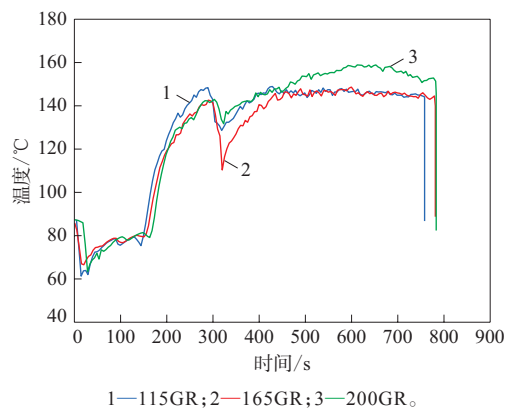
填充不同牌号白炭黑胶料的一段混炼温度和混炼功率随时间的变化曲线分别如图2和3所示。



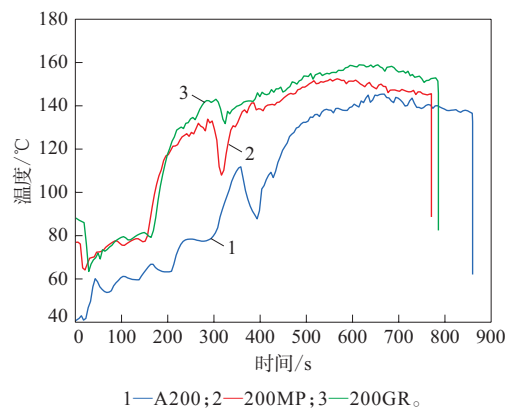
(a)



(b)



(c)



(d)

图2 填充不同牌号白炭黑胶料的一段混炼温度-时间关系曲线

Fig. 2 First-stage mixing temperature-time curves of compounds with different grades of silicas

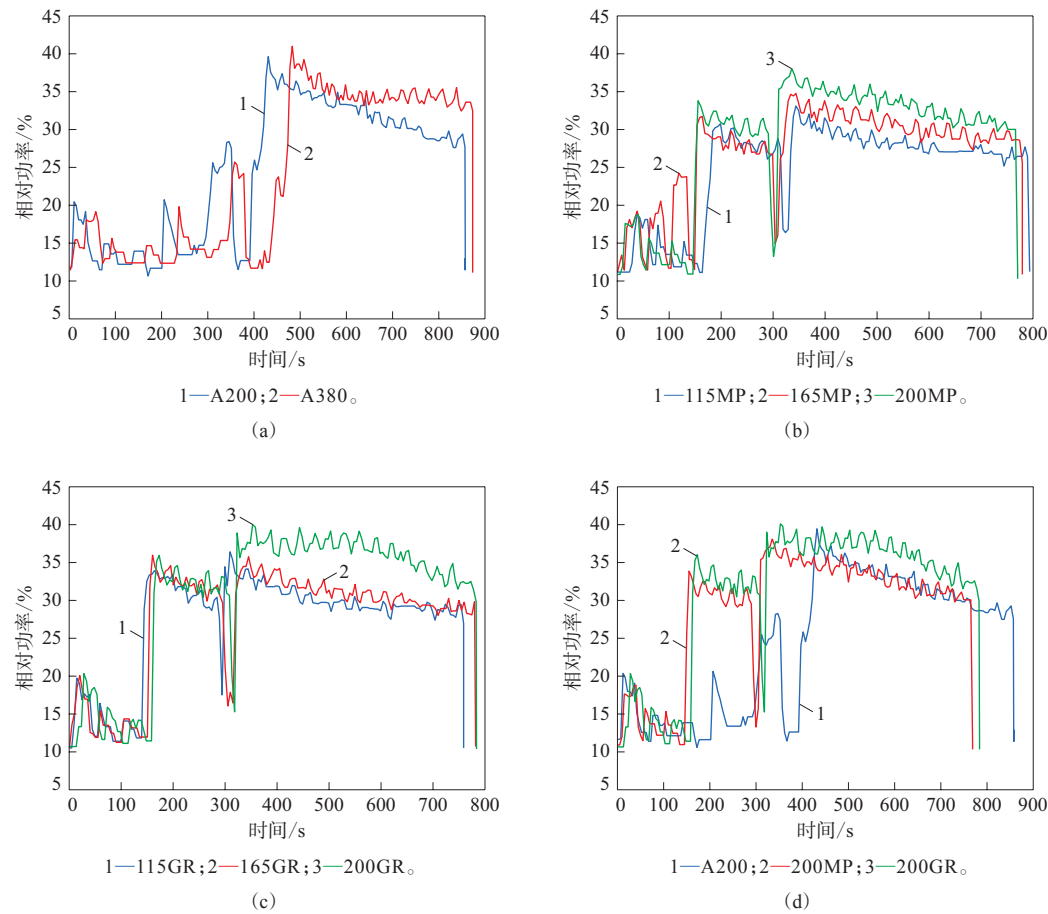


图3 填充不同牌号白炭黑胶料的一段混炼功率-时间关系曲线
Fig. 3 First-stage mixing power-time curves of compounds with different grades of silicas

从图2可以看出:投料后胶料的温度明显上升,其中气相法白炭黑胶料的温度上升速率略慢于沉淀法白炭黑胶料;在整个混炼过程中,填充A380胶料的温升高于填充A200胶料,填充MP系列白炭黑胶料的温升从大到小的顺序为200MP,165MP,115MP,填充GR系列白炭黑胶料的温升从大到小的顺序为200GR,165GR,115GR,其中填充165GR胶料的温升略高于填充115GR胶料,说明填充比表面积大的白炭黑胶料的温升较大。

从图3可以看出,填充A380胶料的混炼功率大于填充A200胶料,填充MP系列白炭黑胶料的混炼功率从大到小的顺序为200MP,165MP,115MP,填充200GR胶料的混炼功率大于填充165GR胶料和填充115GR胶料,填充165GR胶料的混炼功率略大于填充115GR胶料,说明填充的白炭黑比表面积越大,胶料的混炼功率越大。

对从图2和3可以看出,填充MP系列白炭黑胶

料的混炼温升低于和混炼功率小于填充GR系列白炭黑胶料。

2.3 混炼胶性能

2.3.1 门尼粘度

胶料的门尼粘度可以反映其加工性能,胶料的门尼粘度越大,塑性越差,加工难度越大。填充不同牌号白炭黑胶料的门尼粘度如表2所示。

填充相同堆积状态、不同比表面积的3组白炭黑胶料的门尼粘度从大到小的顺序分别为:A380,

表2 填充不同牌号白炭黑胶料的门尼粘度
Tab. 2 Mooney viscosities of compounds with different grades of silicas

白炭黑 牌号	门尼粘度[ML (1+4) 100 ℃]	白炭黑 牌号	门尼粘度[ML (1+4) 100 ℃]
A200	81	200MP	102
A380	107	115GR	63
115MP	81	165GR	80
165MP	84	200GR	92

A200; 200MP, 165MP, 115MP; 200GR, 165GR, 115GR, 说明随着白炭黑比表面积增大、初生粒径减小, 胶料的门尼粘度增大, 加工难度提高。填充比表面积约为 $200 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 的白炭黑A200, 200MP, 200GR胶料的门尼粘度从大到小的顺序为200MP, 200GR, A200, 说明填充A200胶料的加工难度较小, 填充200MP胶料的加工难度较大。

2.3.2 Payne效应

在较小应变下, 胶料的储能模量(G')随着应变的增大变化很小, 当应变达到一定值后, G' 急剧下降, 胶料在连续增大的应变作用下表现出的这种非线性行为被称作Payne效应。Payne效应反映了填料在橡胶基体中的分散状况及填料与橡胶基体、填料与填料之间的相互作用^[14-15]。通常以 $\Delta G'$ (小应变与大应变下 G' 的差值) 表征Payne效应的强弱, 即填料的聚集程度, $\Delta G'$ 越大, Payne效应越强。

胶料应变扫描的 G' -应变曲线如图4所示。

从图4可以看出, 填充不同牌号白炭黑胶料的 G' 都随着应变的增大而降低。填充相同堆积状态、不同比表面积的3组白炭黑胶料的 $\Delta G'$ 从大到小的顺序分别为: A380, A200; 200MP, 165MP, 115MP; 200GR, 165GR, 115GR, 说明白炭黑比表面积越大、初生粒径越小, 其胶料的Payne效应越强, 填料的聚集程度越大。对于比表面积相同的白炭黑A200, 200MP, 200GR, 填充200MP胶料与填充200GR胶料的 $\Delta G'$ 相近, 填充A200胶料的 $\Delta G'$ 较小, 说明气相法白炭黑A200在混炼胶中的聚集程度明显小于沉淀法白炭黑200MP和200GR。

2.3.3 硫化特性

填充不同牌号白炭黑胶料的硫化特性如表3所示。

从表3可以看出, 填充MP和GR系列沉淀法白炭黑胶料的硫化速度较快, 填充A系列气相法白炭

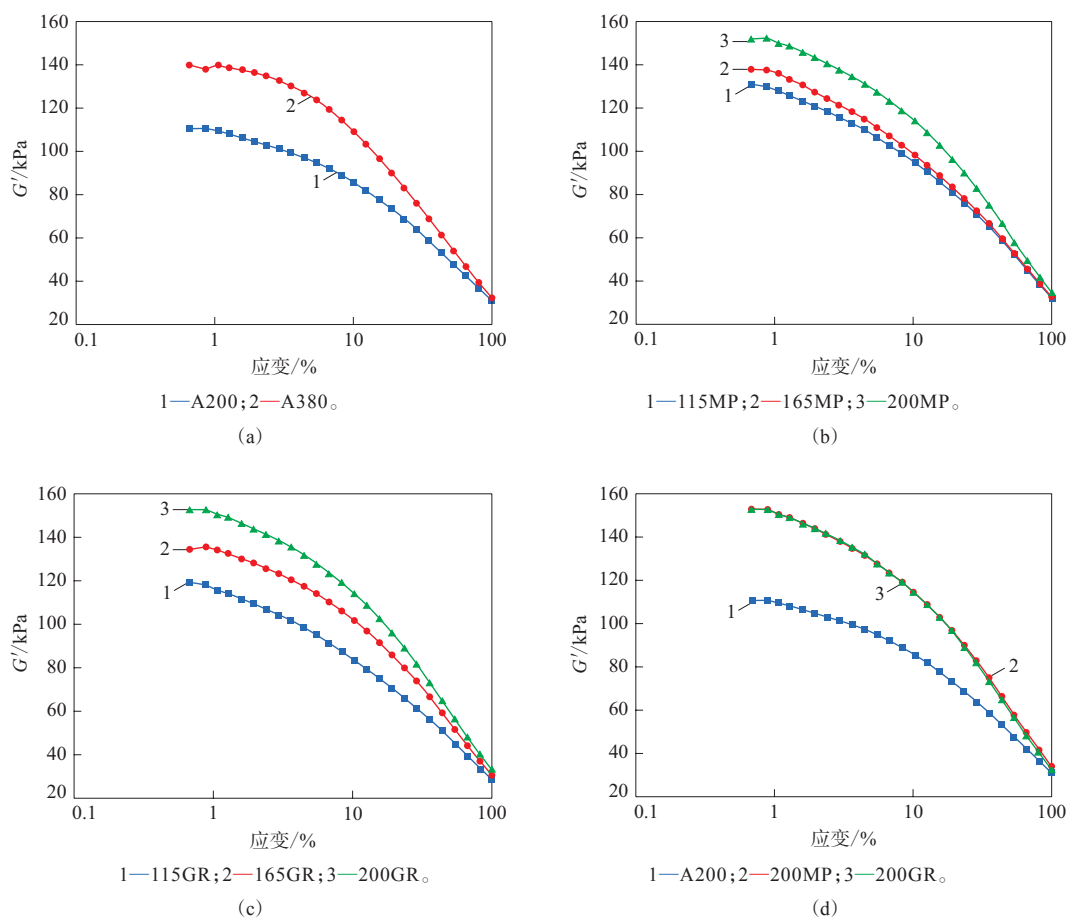


图4 填充不同牌号白炭黑胶料的 G' -应变曲线
Fig. 4 G' -strain curves of compounds with different grades of silicas

表3 填充不同牌号白炭黑胶料的硫化特性
Tab.3 Vulcanization characteristics of compounds with different grades of silicas

项 目	A200	A380	115MP	165MP	200MP	115GR	165GR	200GR
$F_L/(dN \cdot m)$	3.03	3.91	2.77	3.26	3.91	2.50	3.23	4.20
$F_{max}/(dN \cdot m)$	17.50	17.92	16.77	18.82	20.01	16.42	17.86	1.88
$F_{max}-F_L/(dN \cdot m)$	14.47	14.01	14.00	15.56	16.10	13.92	14.63	14.68
t_{s1}/min	0.73	0.96	1.21	1.07	0.93	1.41	1.31	1.39
t_{10}/min	1.17	1.33	1.45	1.41	1.19	1.66	1.65	1.77
t_{90}/min	17.71	18.86	8.83	9.24	10.46	8.59	10.23	9.54
$t_{90}-t_{10}/min$	16.54	17.53	7.38	7.83	9.27	6.93	8.58	7.77

黑胶料的硫化速率较慢。

2.4 硫化胶性能

2.4.1 分散性

填充不同牌号白炭黑硫化胶的SEM照片如图5所示。

从图5可以看出,A系列气相法白炭黑在橡胶

基体中均匀分散,硫化胶断面状态较为光滑;MP和GR系列沉淀法白炭黑硫化胶的断面较粗糙,其中MP系列白炭黑在橡胶基体中分散较为均匀,而GR系列白炭黑在橡胶基体中存在较大团聚体。

用炭黑分散仪测试白炭黑的分散情况,结果如表4所示。 X 值为直径小于23 μm 颗粒分布的白

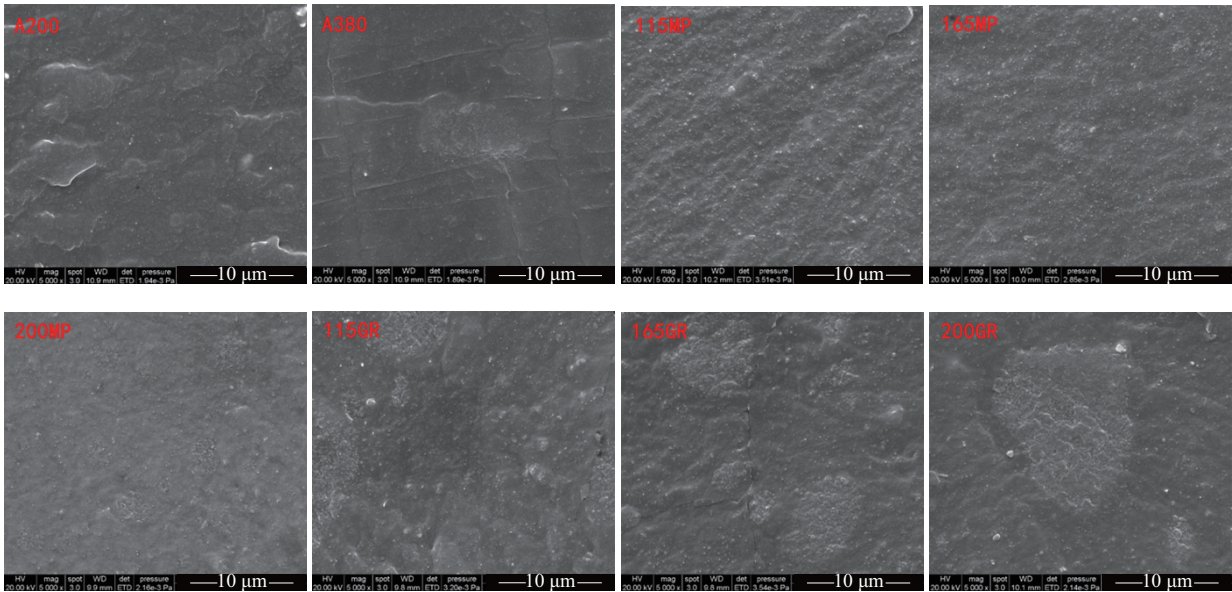


图5 填充不同牌号白炭黑硫化胶的SEM照片
Fig.5 SEM photoes of vulcanizates with different grades of silicas

表4 硫化胶中白炭黑的分散性
Tab.4 Dispersion of silica in vulcanizates

白炭黑牌号	分散性	
	X 值	Y 值
A200	10.0	9.7
A380	8.5	8.8
115MP	9.1	9.3
165MP	9.9	9.6
200MP	8.4	8.8
115GR	6.4	8.0
165GR	5.0	5.6
200GR	4.6	6.0

色区域等级, Y 值为直径大于23 μm 颗粒分布的白色区域等级。 X 和 Y 值越大,填料的分散性越好:9~10为很好,8~9为好,7~8为可接受,5~6为不确定,3~4为差,1~2为很差。

从表4可以看出:A200的分散效果为很好,A380为好;115MP和165MP为很好,200MP为好;115GR为不确定和好,165GR为不确定,200GR为差和不确定。对于相同堆积状态、不同比表面积

的白炭黑,随着比表面积增大、初生粒径减小,白炭黑的团聚体增多,分散性变差。对于比表面积

相同的A200, 200MP, 200GR, A系列粉末状气相法白炭黑的分散性最好, MP系列微珠状沉淀法白炭黑的分散性较好, GR系列颗粒状沉淀法白炭黑的分散性最差, 这可能是因为密炼机的剪切强度无法使GR系列白炭黑粘结形成的块体被强制分散, 所以其在橡胶基体中依然存在较大的团聚体。

2.4.2 物理性能

填充不同牌号白炭黑硫化胶的物理性能如表5所示。

从表5可以看出, 填充A系列气相法白炭黑硫化胶的拉伸强度、拉断伸长率和撕裂强度均高于

填充MP和GR系列沉淀法白炭黑硫化胶, 说明气相法白炭黑可以同时起到较好的增强和增韧效果, 这可能是因为白炭黑与橡胶基体充分吸附, 加上硅烷偶联剂增强了白炭黑与橡胶基体的界面结合, 有利于白炭黑粒子与橡胶基体之间的应力传递, 同时当橡胶基体受力时, 白炭黑与橡胶基体之间可能产生大量微裂纹, 白炭黑粒子间的橡胶基体产生塑性变形而耗散能量, 从而同时达到增强和增韧的效果。与填充MP和GR系列沉淀法白炭黑硫化胶相比, 填充A系列气相法白炭黑硫化胶的硬度和DIN磨耗量较小, 回弹值略大。填充不同牌号白炭黑硫化胶的压缩疲劳温升差异较小。

表5 填充不同牌号白炭黑硫化胶的物理性能
Tab. 5 Physical properties of vulcanizates with different grades of silicas

项 目	A200	A380	115MP	165MP	200MP	115GR	165GR	200GR
邵尔A型硬度/度	59	59	64	67	66	61	63	65
100%定伸应力/MPa	2.08	2.13	3.3	3.00	3.52	2.60	2.96	3.23
300%定伸应力/MPa	9.58	9.20	13.97	13.88	15.14	10.71	10.46	11.97
拉伸强度/MPa	19.23	19.34	16.54	17.86	16.85	13.67	13.99	15.91
拉断伸长率/%	495	501	349	371	325	368	381	377
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	34	33	28	30	31	27	31	33
回弹值/%	38.1	38.1	36.0	33.6	33.5	36.0	37.3	34.2
DIN磨耗量/mm ³	55.549	55.391	58.313	58.519	57.940	57.053	57.215	57.837
压缩疲劳温升/℃	23.8	21.1	23.2	24.0	23.8	23.0	23.7	23.8

2.4.3 动态力学性能

以0℃时的损耗因子tanδ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; 以60℃时的tanδ表征硫化胶的滚动阻力, tanδ越小, 硫化胶的滚动阻力越小。

填充不同牌号白炭黑硫化胶的动态力学性能数据如表6所示, tanδ-温度曲线如图6所示。

从表6和图6可以看出, 填充A系列气相法白炭

黑的硫化胶0和60℃时的tanδ均较小, 说明填充气相法白炭黑硫化胶的滚动阻力较小, 但抗湿滑性能较差。

硫化胶的抗湿滑性能-滚动阻力平衡性如图7所示。

3 结论

(1) 对于相同堆积状态、不同比表面积的黑, 白炭黑的比表面积越大, 其填充胶料的混炼温升越高和混炼功率越大, 加工难度也越大。

(2) 对于相同堆积状态、不同比表面积的黑, 白炭黑的比表面积增大、初生粒径减小, 白炭黑的团聚体增多, 分散性变差。

(3) 对比相同比表面积、不同堆积状态的黑, 白炭黑A200, 200MP, 200GR, A200在橡胶基体中的分散性最好, 200MP的分散性次之, 200GR的分散性最差。

(4) 相比于沉淀法白炭黑200MP和200GR, 气相法白炭黑A200能同时增强和增韧硫化胶, 并减

表6 填充不同牌号白炭黑硫化胶的动态力学性能
Tab. 6 Dynamic mechanical properties of vulcanizates with different grades of silicas

白炭黑牌号	tanδ	
	0℃	60℃
A200	0.361	0.096
A380	0.388	0.091
115MP	0.421	0.105
165MP	0.391	0.110
200MP	0.419	0.099
115GR	0.407	0.101
165GR	0.428	0.093
200GR	0.407	0.098

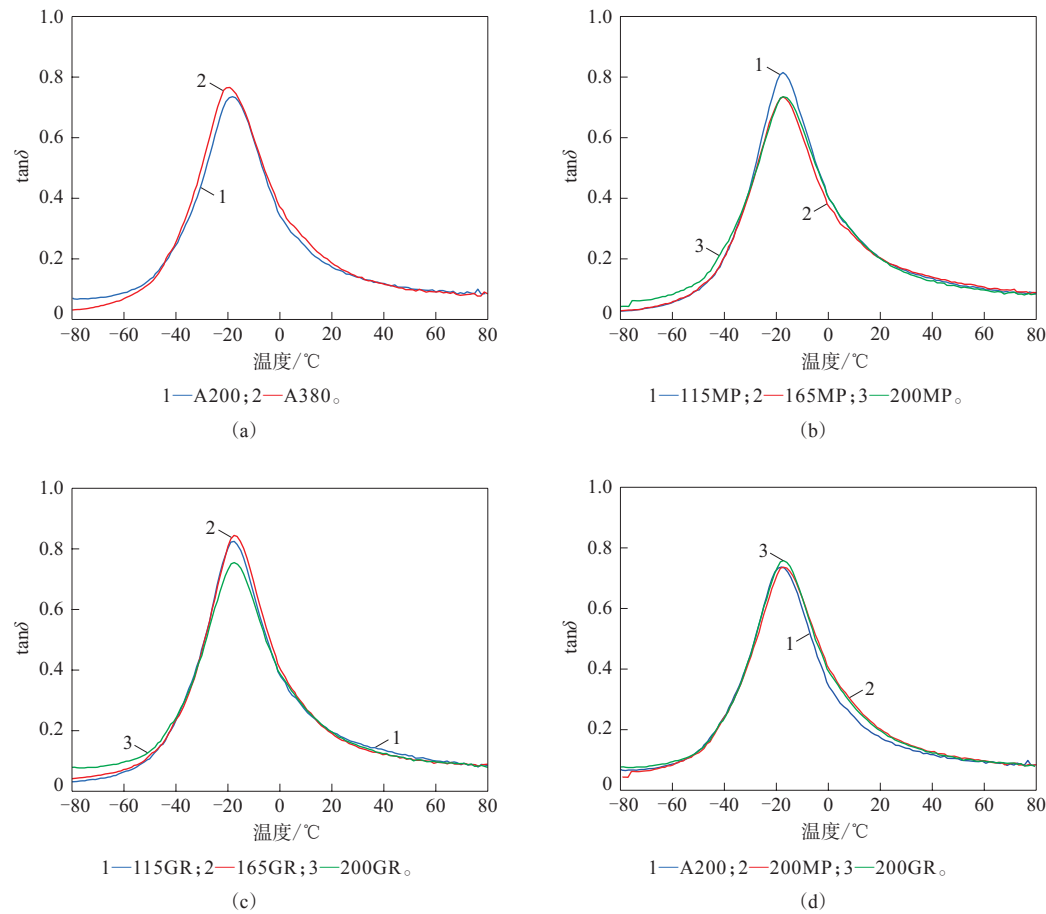


图6 填充不同牌号白炭黑硫化胶的 $\tan \delta$ -温度曲线

Fig.6 The $\tan \delta$ -temperature curves of vulcanizates with different grades of silicas

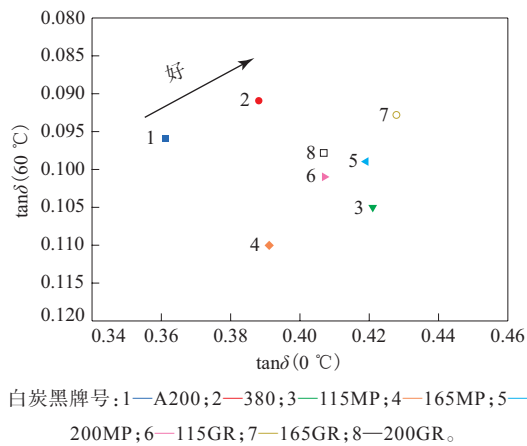


图7 填充不同牌号白炭黑硫化胶的抗湿滑性能-滚动阻力平衡性

Fig.7 Balance between wet-skid resistance and rolling resistance of vulcanizates with different grades of silicas

小硫化胶的滚动阻力和磨耗量,但是硫化胶的抗湿滑性能较差。

参考文献:

- [1] 赵菲,黄琪伟,高洪娜,等. 绿色轮胎原材料研究进展[J]. 科学通报,2016,61(31):3348-3358.
ZHAO F, HUANG Q W, GAO H N, et al. Development of raw materials for green tire[J]. Chinese Science Bulletin, 2016, 61(31): 3348-3358.
- [2] 李花婷,陈名行,蔡尚脉. 绿色轮胎用橡胶材料功能化的研究概况[J]. 橡胶工业,2019,66(7):483-488.
LI H T, CHEN M X, CAI S M. Research situation of functionalization of rubber material for green tire[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(7): 483-488.
- [3] 王梦蛟. 绿色轮胎的发展及其推广应用[C]. 特种功能性材料及新型环保技术研讨会暨2017年度橡塑产品绿色制造委员会会员大会论文集. 上海:中国化工学会橡塑产品绿色制造委员会,2017:159-173.
- [4] 蔺延喜,韩冬礼,罗建宇,等. 湿法混炼用于白炭黑/天然橡胶复合材料的现状[J]. 云南化工,2020,47(6):6-8.
LIN Y X, HAN D L, LUO J Y, et al. Present situation and existing

- problems of wet-mixing method applied to silica/NR composite material[J]. Yunnan Chemical Technology, 2020, 47 (6) : 6-8.
- [5] 缪焯,孔令汉,黄溪岱,等. 沉淀法白炭黑的制备及其填充SSBR/BR的研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2019, 46 (2) : 31-37.
- MIAO Y, KONG L H, HUANG X D, et al. Preparation of precipitated silica and its use as a filler with SSBR/BR[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science Edition), 2019, 46 (2) : 31-37.
- [6] 焦志民,白英杰,孙玉,等. 白炭黑对轮胎胶料性能的影响[J]. 轮胎工业, 2008, 28 (9) : 548-550.
- JIAO Z M, BAI Y J, SUN Y, et al. Effect of silica on properties of tire compound[J]. Tire Industry, 2008, 28 (9) : 548-550.
- [7] YATSUYANAGI F, SUZUKI N, ITO M, et al. Effects of secondary structure of fillers on the mechanical properties of silica filled rubber systems[J]. Polymer, 2001, 42 (23) : 9523-9529.
- [8] YATSUYANAGI F, SUZUKI N, ITO M, et al. Effects of surface chemistry of silica particles on the mechanical properties of silica filled styrene-butadiene rubber systems[J]. Polymer Journal, 2002, 34 (5) : 332-339.
- [9] 许有荣,高崧. 绿色轮胎用高分散白炭黑发展现状[J]. 建筑工程技术与设计, 2018 (32) : 3932.
- XU Y Y, GAO S. Development status of highly dispersed silica for green tire[J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2018 (32) : 3932.
- [10] 胡源,牟成乾,李建勋,等. 白炭黑在全钢载重子午线轮胎胎面基部胶中的应用[J]. 轮胎工业, 2020, 40 (8) : 483-487.
- HU Y, MU C Q, LI J X, et al. Application of silica in tread base compound of truck and bus radial tire[J]. Tire Industry, 2020, 40 (8) : 483-487.
- [11] 孙鲁,徐文龙,于海洋,等. 白炭黑对轮胎胎面胶性能的影响[J]. 橡胶科技, 2019, 17 (7) : 407-409.
- SUN L, XU W L, YU H Y, et al. Effect of silica on properties of tire tread compound[J]. Rubber Science and Technology, 2019, 17 (7) : 407-409.
- [12] 邵强,郭铁琼,朱春雨. 中国沉淀法白炭黑产业发展现状及展望[J]. 无机盐工业, 2020, 52 (7) : 8-11.
- SHAO Q, GUO Y Q, ZHU C Y. Development status and prospect of precipitated silica industry in China[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2020, 52 (7) : 8-11.
- [13] 燕鹏华,梁滔. 白炭黑改性及其在橡胶中的应用研究进展[J]. 橡胶科技, 2015, 13 (10) : 9-13.
- YAN P H, LIANG T. Research progress of silica modification and its application in rubber materials[J]. Rubber Science and Technology, 2015, 13 (10) : 9-13.
- [14] 楼峥芳. 国内外顺丁橡胶结构与性能对比分析[J]. 石化技术, 2018, 25 (8) : 336-340.
- LOU Z F. Comparative analysis of structure and property of polybutadiene rubber at home and abroad[J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25 (8) : 336-340.
- [15] 梁守智,钟延堃,张丹秋. 橡胶工业手册(修订版)第四分册 轮胎[M]. 北京:化学工业出版社,1989.

收稿日期: 2022-02-15

Effect of Silica Structure on Properties of Tread Compound

TANG Hanying, WANG Lili

(Sinopec Beijing Research Institute of Chemical Industry Yanshan Branch, National Engineering Research Center for Synthesis of Novel Rubber and Plastic Materials, Beijing 102500, China)

Abstract: The effects of silicas with different structures on the properties of tread compound were studied from two aspects: aggregation state and specific surface area. The results exhibited that, for the silicas with the same aggregation state but different specific surface areas, the larger the specific surface area of the silica was, the higher the mixing temperature rise of the filled compound was, the greater the mixing power was, and the greater the processing difficulty was. With the increase of specific surface area and the decrease of primary particle size of the silicas, the aggregates of the silica increased, and the dispersion decreased. For the silicas with the same specific surface area but different aggregation states, for example, the silica having a specific surface area of $200 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, the dispersion of fumed silica A200 in rubber matrix was better than that of precipitated silica 200MP, while precipitated silica 200GR had the worst dispersion. Compared with precipitated silica 200MP and 200GR, fumed silica A200 could simultaneously reinforce and toughen the vulcanizate, and reduce the rolling resistance and abrasion loss of the vulcanizate, but the wet-skid resistance of the vulcanizate was poor.

Key words: silica; tread compound; structure parameter; aggregation state; specific surface area; dispersion; mixing; dynamic mechanical property