使用抗聚集能力表征白炭黑的分散性

蒋 云，王丹灵*，任福君，陈 生
（中策橡胶集团有限公司，浙江 杭州 310018）

摘要：首先证明白炭黑聚集是决定胶料模量的最主要因素，并且不受硫化网络的影响，然后尝试用白炭黑聚集程度之差[$\delta(\Delta G')$（G'为弹性模量）]来表征白炭黑的分散性。研究结果表明：$\delta(\Delta G')$越大，白炭黑的抗聚集能力越弱；$\delta(\Delta G')$与胶料的门尼焦烧时间、定伸应力和拉伸强度都有非常好的相关性，进一步表明了$\delta(\Delta G')$的研究意义。

关键词：高分散性白炭黑；白炭黑聚集；抗聚集能力；弹性模量；分散性
中图分类号：TQ330.6$^+$3；TQ330.38$^+$3 **文章编号**：1006-8171(2019)08-0476-06
文献标志码：A **DOI**：10.12135/j.issn.1006-8171.2019.08.0476

随着各国轮胎标签法的逐步实施，白炭黑在轮胎胎面胶中对滚动阻力[1]和湿地抓着力[2-4]的作用受到越来越多的关注。但是白炭黑的表面含有大量的羟基，具有较高的表面能，在胶料中容易聚集，从而降低了其工艺及使用性能[5-6]。

白炭黑的聚集力指白炭黑粒子在胶料中的团聚能力，其相对于受混炼剪切力而分散是相逆的。前者使白炭黑粒子不停地聚集在一起，后者则使白炭黑附聚体被剪切分散开。但是，当密炼机混炼转子停止时，粒子聚集就开始单向发生了。这种聚集现象主要发生在胶料的混炼冷却阶段、胎面挤出阶段和轮胎硫化过程中。尤其在硫化高温时，聚集发生得非常迅速强烈，甚至可以导致胶料的焦烧时间缩短[7-8]。

粒子的动力学聚集过程可以参考粒子扩散能力(D)公式[9]：$D=KT/6\pi\eta a$（K是玻尔兹曼常数，T是温度，η是胶料的粘度，a是粒子的半径）。除以上3个因素外，白炭黑的聚集还受其结构及表面性能的影响，如聚集体结构[8,10-11]、比表面积[12]、pH值和含水率[13]等，因此要对其定性判断往往非常困难。

高分散性白炭黑在胶料中具有较高的分散性，其研究和开发越来越多，但是白炭黑是否具有高分散性及高分散性的标准往往是用户自己确定，缺乏统一而有说服力的依据。

无论白炭黑材料的微观结构、聚集态形状和表面化学性能如何，它最终在胶料中都会发生聚集，且这种聚集随着温度的升高而加剧[14]，因此，可以通过白炭黑在高温情况（本研究设定高温温度为橡胶的硫化温度）下的抗聚集能力来判断白炭黑的分散性[15]。

本工作将白炭黑的聚集和橡胶的交联硫化分开进行研究，在硫化温度下通过橡胶加工分析仪研究一系列不同厂家、不同牌号白炭黑胶料的聚集现象，并将所测结果作为白炭黑分散性好坏的依据，以期为轮胎公司及白炭黑生产厂家提供一种快速、准确、重现性强的表征白炭黑分散性能的方法。

1 实验

1.1 主要原材料

5种市场量产的高分散性白炭黑，其中2种为国外品牌，3种为国产品牌，具体理化分析数据见表1；溶聚丁苯橡胶（SSBR），牌号4526-2HM，阿朗新科公司产品；顺丁橡胶（BR），牌号9000，中国石油大庆石化公司产品；硅烷偶联剂TESPT，浙江金茂有限公司产品。

1.2 主要设备和仪器

PHM-2.2型实验室密炼机，璧宏机械工业股份有限公司产品；S(X)K-160型开炼机，上海市拓林轻化机械厂产品；M200E型门尼粘度仪，北京友

作者简介：蒋云（1982—），男，浙江杭州人，中策橡胶集团有限公司工程师，硕士，主要从事轮胎配方及材料开发工作。
*通信联系人（yogidan@163.com）

表1　白炭黑的理化性质

项　目	白炭黑编号				
	A	B	C	D	E
pH值	6.55	6.34	6.78	6.59	6.67
硫酸盐质量分数×10^2	1.30	0.26	0.57	1.26	0.48
水分质量分数(105 ℃×2 h)×10^2	6.93	4.76	6.16	5.09	5.85
灼烧减量/%	11.07	7.95	10.36	8.68	9.79
氮吸附比表面积(BET)/($m^2 \cdot g^{-1}$)	154.5	179.2	184.0	165.8	178.9
CTAB吸附比表面积/($m^2 \cdot g^{-1}$)	145.9	154.9	151.7	150.8	151.4

深电子仪器有限公司产品;GT-2000 A型无转子硫化仪,上海诺甲仪器仪表有限公司产品;RPA2000橡胶加工分析仪(RPA),美国阿尔法科技有限公司产品;TS-2000M型拉力试验机,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品;VR-7120型动态热力学分析仪(DMA),日本上岛公司产品。

1.3　试验配方和工艺

试验配方如表2所示。

表2　试验配方　　份

组　分	配方A—E[1)]	配方F	配方G
白炭黑	80	80	0
硅烷偶联剂TESPT	6.4	0	6.4
硫黄	1.4	2.97	1.4
总计	237.2	230.8	157.2

注:1)配方A—E分别采用白炭黑A—E。配方其余组分和用量为SSBR　75,BR　25,硬脂酸　2.5,氧化锌　3,软化油　32.6,防老剂　2.5,促进剂CZ　1.5,促进剂DPG　2,促进剂TBzTD　0.2。

试验基本配方参照米其林的“绿色轮胎”配方[15],其中配方A—E比较5个不同厂家或不同品牌的白炭黑。另外,作为对比样,配方F不加入硅烷偶联剂(使用的白炭黑与配方B相同),配方G不加入白炭黑。为保证硅烷偶联剂的调整不影响配方中总硫黄用量,还对配方F终炼时加入的硫黄用量进行了修正[16]。

混炼分为3段进行。除硫黄、促进剂、氧化锌外所有原材料都在一段混炼投入密炼机(填充因数为0.7),在145 ℃恒温混炼3 min,以保证白炭黑与硅烷偶联剂进行充分硅烷化反应。

二段混炼将一段混炼胶投入密炼机进行再混炼。

三段混炼在开炼机上加入硫黄、促进剂和氧化锌,混炼均匀后出片。

1.4　测试分析

1.4.1　二段混炼胶热处理及应变扫描

使用RPA对试验配方的二段混炼胶进行热处理(模拟胶料硫化)和应变扫描。其中热处理条件为160 ℃×15 min,应变为6.97%,频率为1.67 Hz。热处理前后的应变扫描条件为:温度　45 ℃,频率　0.1 Hz,应变范围　0.28%～500%。

1.4.2　终炼胶硫化及应变扫描

使用RPA对终炼胶进行硫化和硫化后应变扫描。其中硫化条件为160 ℃×15 min,应变为6.97%,频率为1.67 Hz。硫化后应变扫描条件为:温度　60 ℃,频率　1.67 Hz,应变范围　0.28%～100%。

1.4.3　硫化胶的动态性能测试

使用DMA对硫化胶的动态性能进行分析,采用温度扫描(拉伸模式)。温度扫描条件为:应变　7%±0.25%,频率　20 Hz,温度范围　−50～80 ℃。

1.4.4　结合胶含量测试

将未硫化胶样品剪成条状,取0.2～0.3 g放入边长为2 cm的金属笼子(孔径150 μm)中,称得笼子质量为m_1,笼子和样品质量为m_2。接着将笼子放置在甲苯中浸泡72 h后取出,用丙酮冲洗表面,放入105 ℃的烘箱干燥2 h。然后取出放入干燥器内冷却30 min后,称取笼子和样品质量为m_3。结合胶含量(φ)根据以下公式计算[17-18]:

$$\varphi = \frac{(m_3 - m_1) - (m_2 - m_1)P_b}{(m_2 - m_1)P_r} \times 100\% \qquad (1)$$

式中,P_b和P_r分别为不溶甲苯物比例和橡胶比例。

1.4.5　其他性能测试

胶料的门尼粘度、门尼焦烧时间和拉伸性能等其他性能均按照相应国家或企业标准进行测试。

2　结果与讨论

2.1　白炭黑聚集对胶料弹性模量(G')的影响

160 ℃下3个配方胶料的流变曲线如图1所示。

从图1可以发现,3个配方胶料的G'有很大区别。无硅烷偶联剂的配方F胶料G'的起始点最高,在160 ℃高温的作用下,G'迅速上升;不含白炭

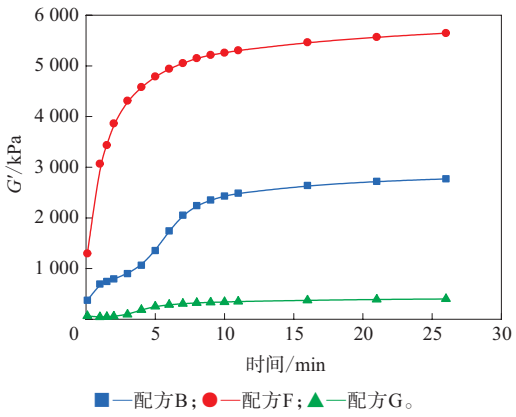


图1 160 ℃下3个配方胶料的流变曲线

黑的配方G胶料不仅G'较低，其上升也很缓慢，因为仅存在硫化网络形成而导致的G'上升；同时含有硅烷偶联剂和白炭黑的配方B胶料的G'处于中间。需要注意的是，相对于配方F和G胶料，配方B胶料G'的上升存在一个拐点，甚至可以说有一个平台。这是由于配方B胶料G'贡献的来源有两方面：白炭黑的聚集和硫化网络的形成，而这两方面形成的时间、速率及对G'的贡献程度不同，因此导致平台与拐点的产生。G'上升的第1阶段主要是由白炭黑的聚集造成[8,19]，而后一阶段则主要来源于硫化网络的形成。从图1还可以发现，与配方F胶料相比，配方G胶料的G'非常小，这说明在高白炭黑填充配方体系中，与硫化网络的形成相比，白炭黑的聚集是影响硫化胶硬度和模量的主要因素，而且其主要发生在橡胶硫化网络形成前。因此，将无硫黄的二段混炼胶在硫化温度和时间下进行热处理，使白炭黑发生聚集，可用白炭黑的抗聚集能力来表征其分散性能。

2.2 白炭黑的抗聚集能力

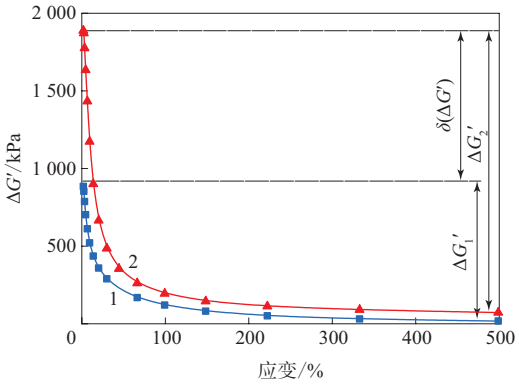
根据20世纪60年代Payne提出的理论[20]，填充填料的胶料G'随着应变的增大会降低，主要是由于应变导致填料网络破坏。J. Fröhlich等[21]指出，硫化胶的应变模量由四部分构成，即填料-填料的相互作用、填料-橡胶的相互作用、填料的流体效应及聚合网络。而对于本研究的白炭黑分散性，用胶料热处理后的白炭黑聚集程度[$\delta(\Delta G')$]表征。$\delta(\Delta G')$越大，白炭黑的抗聚集能力越弱，计算公式为

$$\Delta G' = G'_{0.28\%} - G'_{500\%} \quad (2)$$

$$\delta(\Delta G') = \Delta G'_2 - \Delta G'_1 \quad (3)$$

式中，$G'_{0.28\%}$为应变0.28%的弹性模量，$G'_{500\%}$为应变500%的弹性模量，$\Delta G'_1$和$\Delta G'_2$分别为热处理前后应变0.28%与500%的弹性模量之差。

$\Delta G'$代表白炭黑在胶料中的Payne效应，即填料-填料相互作用。$\delta(\Delta G')$为热处理前后同一胶料的$\Delta G'$之差，代表热处理过程所导致的白炭黑聚集程度。为进一步明确此概念，列举典型的白炭黑配方胶料热处理前后的应变扫描曲线，如图2所示。所有试验配方胶料$\delta(\Delta G')$的计算结果如表3



1—热处理前；2—热处理后。

图2 配方B二段混炼胶热处理前后的应变扫描曲线

表3 配方A—G胶料的白炭黑聚集程度测试结果 kPa

项 目	配方A	配方B	配方C	配方D	配方E	配方F	配方G
热处理前							
$G'_{0.28\%}$	847.4	974.3	806.6	811.9	864.0	5 167.4	103.5
$G'_{500\%}$	26.2	26.0	24.9	25.1	26.4	18.2	10.5
$\Delta G_1'$	821.2	948.3	781.7	786.8	837.6	5 149.2	93.0
热处理后							
$G'_{0.28\%}$	1 698.8	1 232.8	1 431.1	1 051.7	1 257.3	3 125.5	67.1
$G'_{500\%}$	76.8	65.7	80.3	65.4	76.2	20.5	26.3
$\Delta G_2'$	1 622.0	1 167.1	1 350.8	986.3	1 181.1	3 105.0	40.8
$\delta(\Delta G')$	800.8	218.8	569.1	199.5	343.5	−2 044.2	−52.2

所示。

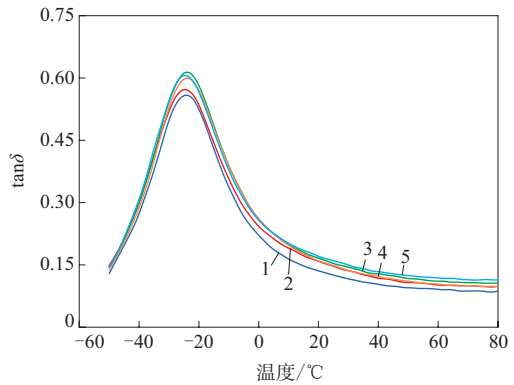
从表3可以发现，配方D胶料的$\delta(\Delta G')$最低，说明其白炭黑的抗聚集能力最强，分散性最好。而配方C胶料的$\Delta G_1'$较低，但是经过热处理后，其白炭黑聚集程度较大，抗聚集能力较差，说明该白炭黑的分散能力较差，这一结果与后面所测得的胶料动态性能等相符。因此认为，用$\delta(\Delta G')$判断白炭黑分散性是准确的：$\delta(\Delta G')$越小，抗聚集能力越强，白炭黑的分散性能也越好。

对于不含白炭黑的配方G胶料，其$\Delta G'$在热处理后反而发生下降。这是因为此配方中不含填料，因此就不存在白炭黑的聚集，其$\delta(\Delta G')$只能是由橡胶造成的。在较高的硫化温度和较长时间下，部分橡胶分子链发生热降解而导致G'下降，最终使$\delta(\Delta G')$出现负值。

而不含硅烷偶联剂的配方F胶料白炭黑聚集非常严重，分散最差，$\Delta G_1'$最高，但是经过热处理后，其$\Delta G'$也下降，且下降程度更大，$\delta(\Delta G')$也出现了负值。这除了由于橡胶分子链发生热降解外，还可能有以下两方面原因：一是由于没有硅烷偶联剂的作用，该配方的白炭黑聚集程度在热处理前就达到或接近最大值，热处理并不能使白炭黑发生更多的聚集；二是根据连续橡胶壳相机理[22-23]，经过高温热处理，包覆在白炭黑表面的橡胶减少，更多的橡胶从填料表面被释放出来，从而导致胶料总体模量降低。

2.3　硫化胶的动态性能

5个白炭黑配方的硫化胶的滞后因子(tanδ)-温度扫描曲线如图3所示。



1—配方A；2—配方B；3—配方C；4—配方D；5—配方E。

图3　硫化胶的tanδ-温度扫描曲线

采用胶料60 ℃时的tanδ可以预测轮胎的滚动阻力[1,24]。从图3可以发现，$\delta(\Delta G')$最大的配方A胶料在60 ℃下却有最小的tanδ，这无法从填料的分散角度解释。影响胶料滞后损失的因素除填料-填料相互作用外，还与填料-聚合物相互作用及聚合物分子链末端摩擦导致的生热有关[25]。因此可以从白炭黑比表面积进行解释：配方A白炭黑的CTAB吸附比表面积最小，粒径最大，因此在相同填料用量下，其结合胶量最小，填料的有效体积最小[21]，导致其在60 ℃时的tanδ最小。因此，对于不同白炭黑分散性的比较，在硅烷偶联剂用量一定的情况下，其CTAB吸附比表面积要基本一致才更客观，或者需要根据CTAB吸附比表面积对硅烷偶联剂用量进行调整，再进行比较[26-27]。例如根据Guy的建议，在白炭黑胶料配方中硅烷偶联剂TESPT和促进剂DPG用量需要以白炭黑CTAB吸附比表面积为基础计算[28]。配方A—E胶料的结合胶含量计算结果分别为44.55%，49.33%，52.17%，46.74%和53.24%。

2.4　胶料的加工性能和物理性能

胶料的加工性能和物理性能如表4所示。$\delta(\Delta G')$与门尼焦烧时间和300%定伸应力的关系分别如图4和5所示。

从表4可以发现，$\delta(\Delta G')$与胶料的门尼焦烧时间、定伸应力和拉伸强度都存在较好的相关性。

从图4可以发现，$\delta(\Delta G')$越大，白炭黑的聚集程度越强，也就是白炭黑的抗聚集能力越弱，门尼焦烧时间越短。

从图5可以发现，$\delta(\Delta G')$越大，硫化胶的300%定伸应力越大。另外，$\delta(\Delta G')$与硫化胶的拉伸强度和100%定伸应力也存在线性关系。以上结果进一步证明，$\delta(\Delta G')$是白炭黑配方胶料中一个重要的参数，它除与白炭黑的分散性相关，还与胶料的其他性能有良好的相关性。

3　结论

在高填充白炭黑的绿色轮胎胶料配方中，白炭黑聚集是影响硫化胶模量和物理性能的主要因素。在高温作用下，白炭黑聚集先于硫黄网络形成而发生。因此，将白炭黑聚集和硫黄网络形成分开研究，对不含硫化体系的混炼胶进行热处

表4 胶料的加工性能和物理性能

项 目	配方A	配方B	配方C	配方D	配方E	配方F	配方G
门尼粘度[ML(1+4)100 ℃]	85	99	91	88	94	89	34
门尼焦烧时间t_5(127 ℃)/min	23.42	28.47	23.57	30.42	27.02	10.62	16.07
硫化仪数据(160 ℃)							
F_L/(dN·m)	4.36	5.41	4.59	4.21	4.98	16.11	0.70
F_{max}/(dN·m)	24.28	22.68	21.73	20.64	22.16	39.71	4.06
t_{10}/min	1.40	1.95	2.05	2.13	2.13	0.07	2.18
t_{90}/min	8.70	9.40	8.15	8.98	9.05	7.02	8.93
160 ℃×15 min硫化胶性能							
邵尔A型硬度/度	70	68	67	66	68	75	27
100%定伸应力/MPa	2.7	2.3	2.6	2.5	2.5	2.4	0.4
300%定伸应力/MPa	11.1	8.8	10.3	9.3	9.6	5.6	1.1
拉伸强度/MPa	18.0	16.3	15.5	15.7	14.9	15.1	1.1
拉断伸长率/%	427	452	397	437	406	638	305
撕裂强度/(kN·m^{-1})	52	63	58	58	59	63	5

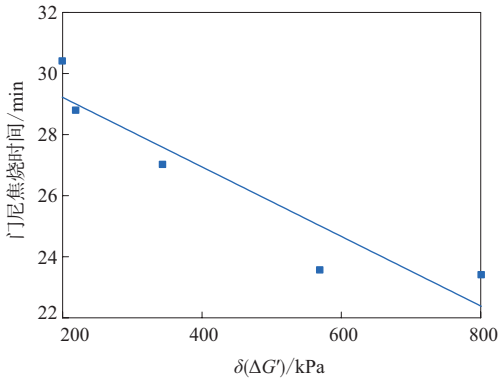


图4 胶料的门尼焦烧时间-$\delta(\Delta G')$关系

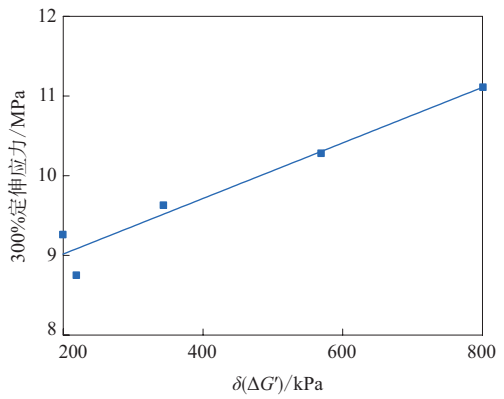


图5 硫化胶的300%定伸应力-$\delta(\Delta G')$关系

理,利用$\delta(\Delta G')$来表征白炭黑的分散性。同时发现,$\delta(\Delta G')$与胶料的门尼焦烧时间、定伸应力和拉伸强度都有非常好的相关性,这也进一步表明了$\delta(\Delta G')$的研究意义。

目前,只是采用$\delta(\Delta G')$对高分散性白炭黑的分散性进行对比,后续将进一步寻找一个标尺,对白炭黑分散性能进行定量判断。

参考文献:

[1] Zhang P, Morris M, Doshi D. Materials Development for Lowering Rolling Resistance of Tires[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2016,89(1):79–116.

[2] Wang M J,Kutsovsky Y. Effect of Fillers on Wet Skid Resistance of Tires. Part Ⅰ:Water Lubrication Vs. Filler–Elastomer Interactions[J]. Rubber Chemistry and Technology,2008,81(4):552–575.

[3] Wang M J, Kutsovsky Y. Effect of Fillers on Wet Skid Resistance of Tires. Part Ⅱ: Experimental Observations on Effect of Filler–Elastomer Interactions on Water Lubrication [J]. Rubber Chemistry and Technology,2008,81(4):576–599.

[4] Wang Y X,Wu Y P,Zhang L Q,et al. Influence of Filler Type on Wet Skid Resistance of SSBR/BR Composites: Effects from Roughness and Micro–Hardness of Rubber Surface[J]. Applied Surface Science, 2011,257(6):2058–2065.

[5] 付文,苏绍昌,王丽. 改性白炭黑补强天然橡胶的性能研究[J]. 橡胶工业,2018,65(1):9–13.

[6] 苏巨桥,赵中国,廖霞,等. 白炭黑填充丁苯橡胶复合体系的粘弹和加工性能研究[J]. 橡胶工业,2018,65(2):132–136.

[7] Maghami S,Dierkes W K,Noordermeer J W M. Functionalized SBRs in Silica–reinforced Tire Tread Compounds:Evidence for Interactions between Silica Filler and Zinc Oxide[J]. Rubber Chemistry and Technology,2016,89(4):559–572.

[8] Mihara S, Datta R N, Noordermeer J W M. Flocculation in Silica Reinforced Rubber Compounds[J]. Rubber Chemistry and Technology,2009,82(5):524–540.

[9] Lin C J, Hergenrother W L, Alexanian E, et al. On the Filler Flocculation in Silica–Filled Rubbers. Part I: Quantifying and Tracking the Filler Flocculation and Polymer–Filler Interactions in the Unvulcanized Rubber Compounds[J]. Rubber Chemistry and Technology,2002,75(5):865–890.

[10] Mihara S,Datta R N,Dierkes W K,et al. Ultra Small–angle X–ray

Scattering Study of Flocculation in Silica-filled Rubber[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2014, 87(2): 348-359.

[11] Blume A. Analytical Properties of Silica—a Key for Understanding Silica Reinforcement[J]. Kautschuk Gummi Kunststoffe, 2000, 53(6): 338-345.

[12] Luginsland H D, Fröhlich J, Wehmeier A. Influence of Different Silanes on the Reinforcement of Silica-Filled Rubber Compounds [J]. Rubber Chemistry and Technology, 2002, 75(4): 563-579.

[13] Hunsche A, Görl U, Müller A, et al. Investigation Concerning the Reaction Silica-Organosilane and Organosilane-Polymer. Part Ⅰ: Reaction Mechanism and Reaction Model for Silica/Organosilane [J]. Kautsch. Gummi Kunstst, 1997, 51(7): 881-889.

[14] Lin C J, Michael Y W, Cody R J. Silanization Characterization and Compound Properties of Silica-filled Rubber Containing a Blocked Mercapto Silane[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2017, 90(1): 126-145.

[15] Rauline R. Rubber Compound and Tires Based on Such a Compound [P]. EU: EP 0501227A1, 1992-02-12.

[16] Ten Brinke J W, Debnath S C, Reuvekamp L A E M, et al. The Influence of Silane Sulfur and Carbon Rank on Process of a Silica Reinforced Tire Tread Compound[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2003, 76(1): 12-35.

[17] Sheng E, Sutherland I, Bradley R H, et al. Effects of a Multifunctional Additive on Bound Rubber in Carbon Black and Silica Filled Nature Rubbers[J]. European Polymer Journal, 1996, 32(1): 35-41.

[18] Puchong T, Pongdhorn S O, Chakrit S. Effects of Silanization Temperature and Silica Type on Propertiesof Silica-filled Solution Styrene Butadiene Rubber (SSBR) for Passenger Car Tire Tread Compounds[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2016, 133(17): 43342.

[19] Reuvekamp L A E M, Debnath S C, Ten Brinke J W, et al. Effect of Zinc Oxide on the Reaction of TESPT Silane Coupling Agent with Silica and Rubber[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2004, 77(1): 34-49.

[20] Payne A R. Strainwork Dependence of Filler-loaded Vulcanizates [J]. Journal of Applied Polymer Science, 1965, 8(1): 2661-2686.

[21] Fröhlich J, Niedermeier W, Luginsland H D. The Effect of Filler-Filler and Filler-Elastomer Interaction on Rubber Reinforcement[J]. Composites. Part A: Applied Science and Manufacturing, 2005, 36(4): 449-460.

[22] Wang M J. Effectof Polymer-Filler and Filler-Filler Interactionon Dynamic Properties of Filled Vullcanizates[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1998, 71(3): 520-589.

[23] Song Y H, Zheng Q. Concepts and Conflicts in Nanoparticles Reinforcement to Polymers beyond Hydrodynamics[J]. Progress in Materials Science, 2016, 84(1): 1-58.

[24] Futamura S. Deformation Index—Concept for Hysteretic Energy-Loss Process[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1998, 71(3): 520-589.

[25] Takahiro K. Development of Modified Solution SBR for the Reduction of Rolling Resistance of Tire[A]. 182nd Technical Meeting of Rubber Division, ACS. Cincinnati, Ohio: 2012.

[26] Kaewsakul W, Sahakaro K, Dierkes W K, et al. Optimization of Mixing Conditions for Silica-reinforced Natural Rubber Tire Tread Compounds[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2012, 85(2): 277-294.

[27] Kaewsakul W, Sahakaro K, Dierkes W K, et al. Optimization of Rubber Formulation for Silica-reinforced Natural Rubber Compounds[J]. Rubber Chemistry and Technology, 2013, 86(2): 313-329.

[28] Laurent G, Thomas C. Optimization of the Silica/Polymer Interface in the Case of Very High Surface Silica: New Methods to Support Formulaton Adjustion for Passenger Car and Truck Tire Treads[A]. 182nd Technical Meeting of Rubber Division, ACS. Cleveland, Ohio: 2017.

收稿日期: 2019-03-10

Characterization of Silica Dispersion by Using Aggregation Resistance

JIANG Yun, WANG Danling, REN Fujun, CHEN Sheng

(Zhongce Rubber Group Co., Ltd, Hangzhou　310018, China)

Abstract: This work showed that the aggregation of silica was the most important factor influencing the modulus of silica filled compound, and it was not significantly affected by the crosslink of rubber network. Then the aggregation resistance of silica[$\delta(\Delta G')$, G' was modulus of elasticity] was used to characterize silica dispersion. The results showed that, the bigger the $\delta(\Delta G')$, the weaker the aggregation resistance of silica. In addition, $\delta(\Delta G')$ had good correlation with the scorch time, stress at fixed elongation and tensile strength of the compound, which further demonstrated the research significance of $\delta(\Delta G')$.

Key words: highly dispersible silica; silica aggregation; aggregation resistance; modulus of elasticity; dispersion