

原材料·配方

热解炭黑和碳纳米管对橡胶的补强效应研究

陈保平, 白艳英, 李志成, 肖建斌*

(青岛科技大学 高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042)

摘要: 研究炭黑N234和热解炭黑(CBp)补强天然橡胶(NR)/顺丁橡胶(BR)并用胶的性能, 以及炭黑N234补强和CBp与碳纳米管(CNTs)协同补强溶聚丁苯橡胶(SSBR)/NR并用胶的性能。结果表明: 相比于炭黑N234, CBp可以延迟胶料的硫化; 与炭黑N234补强NR/BR并用胶相比, CBp补强NR/BR并用胶60℃时的损耗因子($\tan\delta$)显著减小, 说明CBp可以一定程度上降低NR/BR并用胶的滚动阻力; 在CBp与CNTs协同补强SSBR/NR并用胶中, CNTs对SSBR/NR并用胶的补强作用明显; 30份CBp与2份CNTs协同补强SSBR/NR并用胶的综合物理性能与20份炭黑N234补强SSBR/NR并用胶相当, 且0℃时的 $\tan\delta$ 增大, 说明CNTs可以改善SSBR/NR并用胶的抗湿滑性能。

关键词: 热解炭黑; 碳纳米管; 橡胶; 补强效应; 动态力学性能

中图分类号: TQ330.38

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2023)07-0522-06

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2023.07.0522



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

废旧轮胎具有较强的耐腐蚀性能和耐热性能, 难以自然降解, 长时间存放于自然界会造成严重的黑色污染^[1]。碳达峰是我国“十四五”时期的一项重点工作, 即倡导循环经济助力降碳行动, 加强大宗固废综合利用。废旧轮胎裂解作为废旧轮胎回收利用的一种处理方式, 是解决废旧轮胎污染与资源问题的有效途径之一^[2]。此外, 生产绿色轮胎是从根源上保证轮胎安全性和环保性的重要手段。胎面作为轮胎与地面直接接触的部位, 其性能直接决定了轮胎的使用寿命和行驶安全性, 因此绿色轮胎胎面胶必须具有优异的力学性能和耐磨性能。

热解炭黑(CBp)是废旧轮胎经热解之后的重要固体组分, 是原轮胎各部位炭黑、配合剂和附着尘土的混合物, 所以CBp的灰分含量比普通炭黑高, 在补强性能方面不足^[3-5]。但CBp价格便宜和环境友好, 且经超细研磨、活化改性和造粒后, 可代替常规炭黑或与常规炭黑并用^[6-7], 因此CBp对

于改善轮胎的能源结构具有积极意义。

碳纳米管(CNTs)是由单层或多层石墨片层卷曲形成的同心圆筒管, 属于一维纳米材料。由于其大长径比和中空一维结构, CNTs具有优异的力学性能、电学性能和化学性能, 属于一材多用的功能材料^[8-9]。近年来, CNTs作为填料有望赋予橡胶制品优异的性能^[10-11]。

本工作研究炭黑N234和CBp补强天然橡胶(NR)/顺丁橡胶(BR)并用胶, 以及炭黑N234补强和CBp与CNTs协同补强溶聚丁苯橡胶(SSBR)/NR并用胶的性能。

1 实验

1.1 主要原材料

NR, SCRWF, 海南农垦橡胶总公司产品; BR, 牌号9000, 中国石化集团北京燕山石油化工有限公司产品; SSBR, 牌号2557, 线性分子结构, 充油型, 中国石油独山子石化分公司产品; 白炭黑, 牌

作者简介: 陈保平(1999—), 男, 甘肃定西人, 青岛科技大学硕士研究生, 主要从事橡胶加工和改性的研究。

*通信联系人(xiaojainbin@qust.edu.cn)

引用本文: 陈保平, 白艳英, 李志成, 等. 热解炭黑和碳纳米管对橡胶的补强效应研究[J]. 橡胶工业, 2023, 70(7): 522-527.

Citation: CHEN Baoping, BAI Yanying, LI Zhicheng, et al. Study on reinforcement effect of CBp and CNTs on rubber[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(7): 522-527.

号175MP, 索尔维(青岛)精细化工有限公司产品; 炭黑N234, 上海卡博特化工有限公司产品; CBp, 牌号LIR671, 青岛伊克斯达科技有限公司产品; CNTs, 牌号GTR-300, 长径比为800~1 000, 青岛泰歌新材料科技有限公司产品。

1.2 试验配方

(1) NR/BR并用胶配方(用量/份): NR 70, BR 30, 白炭黑 50, 炭黑N234或CBp 变量(见表1), 偶联剂 5, 氧化锌 4, 硬脂酸 1, 环保芳炔油 15, 防老剂TMQ 1, 防老剂4010NA 1, 微晶蜡 0.5, 硫黄 1.5, 促进剂TBBS 1, 促进剂DPG 1。

表1 炭黑N234和CBp的用量 份
Tab.1 Amounts of carbon black N234 and CBp phr

组 分	1 [#] 配方	2 [#] 配方
炭黑N234	20	0
CBp	0	30

(2) SBR/NR并用胶配方(用量/份): SBR(充油量为37.5) 70(以干胶计), NR 30, 白炭黑 50, 炭黑N234或CBp和CNTs 变量(见表2), 偶联剂 5, 氧化锌 4, 硬脂酸 1, 防老剂TMQ 1, 防老剂4010NA 1, 微晶蜡 0.5, 硫黄 1.5, 促进剂TBBS 1, 促进剂DPG 1。

表2 炭黑N234以及CBp和CNTs的用量 份
Tab.2 Amounts of carbon black N234 and CBp and CNTs phr

组 分	3 [#] 配方	4 [#] 配方	5 [#] 配方	6 [#] 配方
炭黑N234	20	0	0	0
CBp	0	30	30	30
CNTs	0	0	1	2

1.3 主要设备和仪器

S(X)R-160A型两辊开炼机, 上海轻工机械技术研究所产品; GT-M2000-A型无转子硫化仪、AI-7000-M型电脑伺服拉力试验机和GT-7012-A型DIN磨耗试验机, 中国台湾高铁科技股份有限公司产品; HD-10型厚度计, 上海化工机械四厂产品; LX-A型邵尔A型硬度计, 上海六菱仪器厂产品; DMA Q800型动态力学分析仪, 美国TA公司产品。

1.4 试样制备

在密炼机中加入橡胶、小料和补强填料进行

混炼, 胶料混炼均匀后放至开炼机上加入硫黄和促进剂并再次混炼均匀, 薄通并打三角包5次, 下片。

混炼胶停放10 h后测试165 °C下胶料的硫化特性。硫化在平板硫化机上进行, 硫化条件为165 °C × ($t_{90} + 3$ min)。

1.5 性能测试

硫化特性按照GB/T 16584—1996进行测试; 邵尔A型硬度按照GB/T 531.1—2008进行测试; 拉伸性能按照GB/T 528—2009进行测试; 撕裂强度按照GB/T 529—2008进行测试; DIN磨耗量按照GB/T 9867—2008进行测试; 动态力学性能测试条件为: 哑铃形试样, 拉伸模式, 温度范围-80~80 °C。

2 结果与讨论

2.1 NR/BR并用胶

胎面胶的主要胶种是具有良好加工性能和抗撕裂性能的NR, 为了平衡耐磨性能、滚动阻力和抗湿滑性能, NR一般会与一定量的合成橡胶并用。由于BR具有优异的耐磨性能和高弹性, NR/BR并用胶被广泛用于新能源汽车轮胎胎面胶的制备。本试验研究炭黑N234和CBp对NR/BR并用胶性能的影响。

2.1.1 硫化特性

NR/BR并用胶的硫化特性如表3所示。

表3 NR/BR并用胶的硫化特性(165 °C)
Tab.3 Vulcanization characteristics of NR/BR blends (165 °C)

项 目	1 [#] 配方	2 [#] 配方
$F_L / (\text{dN} \cdot \text{m})$	27.89	25.64
$F_{\max} / (\text{dN} \cdot \text{m})$	1.32	1.23
$F_{\max} - F_L / (\text{dN} \cdot \text{m})$	26.57	24.41
t_{10} / min	1.92	2.08
t_{90} / min	7.60	8.32

从表3可以看出: 与1[#]配方胶料相比, 2[#]配方胶料的 F_L 和 F_{\max} 较小, 说明2[#]配方胶料中填料间的相互作用以及CBp与橡胶的相互作用均较弱; 2[#]配方胶料的 $F_{\max} - F_L$ 较小, 说明2[#]配方胶料的交联程度低于1[#]配方胶料; 2[#]配方胶料的 t_{10} 和 t_{90} 较长, 这是因为CBp表面含氧基团含量较大, 对促进剂的吸附量

较大,因此延迟胶料的硫化,而炭黑N234具有较高的结构度和较小的粒径,结合胶网构密度较高,因此1[#]配方胶料的 t_{10} 和 t_{90} 较短。

2.1.2 物理性能

NR/BR并用胶的物理性能如表4所示。

表4 NR/BR并用胶的物理性能
Tab. 4 Physical properties of NR/BR blends

项 目	1 [#] 配方	2 [#] 配方
邵尔A型硬度/度	68	67
100%定伸应力/MPa	2.4	2.2
300%定伸应力/MPa	12.3	12.1
拉伸强度/MPa	22.5	21.4
拉断伸长率/%	557	562
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	80	72
DIN磨耗量/mm ³	120	135

从表4可以看出,CBp对胶料的补强效果不如炭黑N234,表现为2[#]配方胶料的拉伸强度和撕裂强度比1[#]配方胶料小。这是因为CBp中的无机化合物和碳沉积吸附在其表面^[12],降低了CBp的活性和结构度,使橡胶与填料之间的相互作用减弱。

胶料的磨损有两方面:一是因为物理撕裂作用于胶料表面,造成橡胶微粒的掉落;二是磨损过程中产生的热量和空气中的氧共同作用于胶料表面而产生化学降解^[13]。从表4还可以看出,2[#]配方胶料的DIN磨耗量明显大于1[#]配方胶料,这是因为CBp用量较大,影响了两种橡胶之间的吸附能,导致胶料的交联程度降低,易于磨损;其次,CBp的结构度低,与橡胶形成的结合胶较少,导致胶料的强度较小,耐磨性能较差。

2.1.3 动态力学性能

NR/BR并用胶的损耗因子($\tan\delta$)-温度曲线如图1所示。

由图1可见,相比1[#]配方胶料,2[#]配方胶料的玻璃化温度(T_g)更高和 $\tan\delta$ 峰值更大。这是因为在 T_g 附近,橡胶的内耗主要来自橡胶分子链段间的摩擦,而CBp的结构度低,其胶料中填料-填料网络结构减弱,填料网络中的橡胶分子链减少,填料对橡胶分子链的限制作用减弱,从而增强了橡胶分子链之间的滑移和摩擦。

一般认为,0℃时的 $\tan\delta$ 表征胶料的抗湿滑性

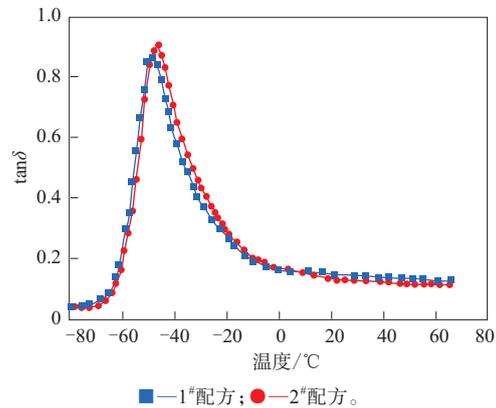


图1 NR/BR并用胶的 $\tan\delta$ -温度曲线

Fig. 1 $\tan\delta$ -temperature curves of NR/BR blends

能,其值越大,胶料的抗湿滑性能越好;60℃时的 $\tan\delta$ 表征胶料的滚动阻力,其值越小,胶料的滚动阻力越低^[14-15]。与1[#]配方胶料相比,2[#]配方胶料0℃时的 $\tan\delta$ 相当,60℃时的 $\tan\delta$ 显著减小,可认为CBp在一定程度上降低了胶料的滚动阻力。这是因为CBp在橡胶中的分散较好,胶料在受力过程中填料与胶料之间的相互作用减弱,造成的能量损失较小,胶料的动态滞后减少,滚动阻力降低。CBp用于新能源汽车轮胎胎面胶可以达到节能降耗的目的。

2.2 SSBR/NR并用胶

由于合成过程中相对分子质量及其分布和化学结构的可控性,SSBR的相对分子质量分布较窄、自由基含量较少,在性能上表现为低滚动阻力和高抗湿滑性能^[16],因此SSBR可与NR并用制备轮胎胎面胶,本试验研究炭黑N234补强和CBp与CNTs协同补强对SSBR/NR并用胶性能的影响。

2.2.1 硫化特性

SSBR/NR并用胶的硫化特性如表5所示。

表5 SSBR/NR并用胶的硫化特性(165℃)
Tab. 5 Vulcanization characteristics of SSBR/NR blends (165℃)

项 目	3 [#] 配方	4 [#] 配方	5 [#] 配方	6 [#] 配方
F_L /(dN·m)	17.19	14.77	16.01	17.30
F_{max} /(dN·m)	2.80	2.26	2.57	3.01
$F_{max}-F_L$ /(dN·m)	14.39	12.51	13.44	14.29
t_{10} /min	2.50	2.68	2.72	2.47
t_{90} /min	20.33	22.05	21.77	21.12

从表5可以看出:3[#]与4[#]配方胶料相比,CBp在一定程度上延缓胶料的硫化,使交联程度降低;添加2份CNTs后的6[#]配方胶料的硫化特性与3[#]配方胶料相差不大。

从表5还可以看出:随着CNTs用量的增大,CBp补强胶料(4[#]—6[#]配方)的 F_L 增大,说明CNTs会使胶料的粘度增大,流动性变差;CBp补强胶料的 F_{max} 和 $F_{max}-F_L$ 增大,这是因为CNTs具有极大的长径比,其表面基团与橡胶分子链具有较强的相互作用,分散在橡胶中具有完善的网络结构,提高了胶料的交联程度;CBp补强胶料的 t_{90} 缩短,这与CNTs优良的导热性能有关,CNTs在胶料中形成导热网链,改善了胶料的导热性能,硫化过程中热量可迅速分布于整个胶料,一定程度上缩短了硫化时间^[17]。

2.2.2 物理性能

SSBR/NR并用胶的物理性能如表6所示。

表6 SSBR/NR并用胶的物理性能
Tab. 6 Physical properties of SSBR/NR blends

项 目	3 [#] 配方	4 [#] 配方	5 [#] 配方	6 [#] 配方
邵尔A型硬度/度	60	58	62	64
100%定伸应力/MPa	1.5	1.7	2.2	2.3
300%定伸应力/MPa	6.7	6.8	8.0	8.3
拉伸强度/MPa	19.8	17.9	18.9	18.6
拉伸伸长率/%	597	609	569	562
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	50	43	46	52

从表6可以看出:4[#]配方胶料的拉伸强度和撕裂强度较小,CBp的补强效果不如炭黑N234;与3[#]配方胶料相比,5[#]配方胶料的拉伸强度和撕裂强度减小,说明CBp与1份CNTs协同补强胶料的综合物理性能不如炭黑N234补强胶料;与4[#]配方胶料相比,添加2份CNTs后的6[#]配方胶料的定伸应力和拉伸强度增大,综合物理性能提高,说明CNTs对胶料有一定的补强作用,以及CNTs可以在一定程度上阻止胶料的裂口增长。

SSBR/NR并用胶的DIN磨耗量如图2所示。

从图2可以看出:4[#]配方胶料的DIN磨耗量明显大于3[#]配方胶料,这是因为CBp用量较大,影响了SSBR的吸附能,从而影响SSBR的交联反应而

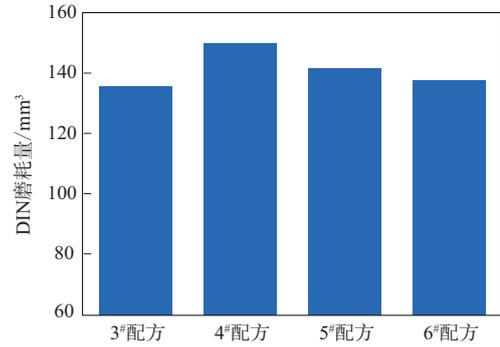


图2 SSBR/NR并用胶的DIN磨耗量
Fig. 2 DIN abrasions of SSBR/NR blends

形成SSBR相缺陷,在受到外力作用时其先于NR相发生破坏;随着CNTs用量的增大,CBp补强胶料(4[#]—6[#]配方)的耐磨性能提高,其中CBp与2份CNTs协同补强胶料的DIN磨耗量与炭黑N234补强胶料相差不大,这是因为CNTs的棒状结构、大长径比和高弹性模量使其在胶料中起到骨架作用,可以改善胶料的耐磨性能,此外CNTs可以使胶料的硬度增大、负荷传递以及应力分布更均匀,从而避免局部过大的应力集中^[18-19]。

2.2.3 动态力学性能

SSBR/NR并用胶的 $\tan\delta$ -温度曲线见图3。

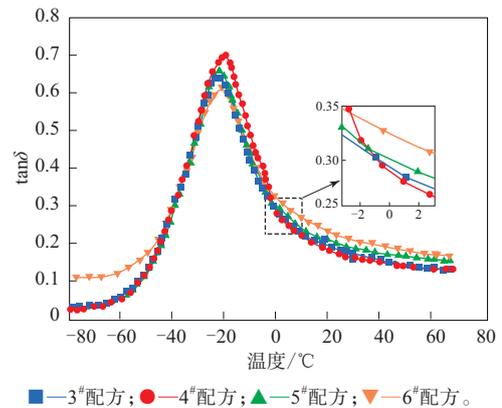


图3 SSBR/NR并用胶的 $\tan\delta$ -温度曲线
Fig. 3 $\tan\delta$ -temperature curves of SSBR/NR blends

从图3可以看出:与4[#]配方胶料相比,3[#]配方胶料的 T_g 较低和 $\tan\delta$ 峰值较小,这是因为炭黑N234包覆橡胶所形成的结合胶多,填料网络作用大,橡胶分子链运动受限;CBP与CNTs协同补强胶料(5[#]和6[#]配方)与炭黑N234补强胶料(3[#]配方)的 T_g 差别不大,但 $\tan\delta$ 峰值和0 °C时的 $\tan\delta$ 存在一定差异,在

CBp与CNTs协同补强体系中,随着CNTs用量的增大,胶料0℃时的 $\tan\delta$ 增大,说明CNTs可以改善胶料的抗湿滑性能。

3 结论

(1) 相比于炭黑N234,CBp可以延迟NR/BR和SSBR/NR并用胶的硫化。

(2) 与炭黑N234补强NR/BR并用胶相比,CBp补强NR/BR并用胶60℃时 $\tan\delta$ 显著减小,说明CBp可以一定程度上降低NR/BR并用胶的滚动阻力。

(3) 在CBp与CNTs协同补强SSBR/NR并用胶中,CNTs对SSBR/NR并用胶的补强作用明显。

(4) 30份CBp与2份CNTs协同补强SSBR/NR并用胶的综合物理性能与20份炭黑N234补强SSBR/NR并用胶相当,且0℃时的 $\tan\delta$ 增大,说明CNTs可以改善SSBR/NR并用胶的抗湿滑性能。

参考文献:

- [1] 邱敬贤,何曦,戴欣,等.废旧轮胎处理技术的研究进展[J]. 中国环保产业,2020(12):18-22.
QIU J X, HE X, DAI X, et al. Research progress on waste tire treatment technologies[J]. China Environmental Protection Industry, 2020(12):18-22.
- [2] 王玉伟,潘劲松,苏俊杰,等.废旧轮胎高值化利用进展及建议[J]. 山东工业技术,2020(4):25-31.
WANG Y W, PAN J S, SU J J, et al. Progress and suggestions on high-value utilization of waste tires[J]. Shandong Industrial Technology,2020(4):25-31.
- [3] CATALDO E. Preparation of pyrolytic carbon black from scrap tire rubber crumb and evaluation in new rubber compounds[J]. Macromolecular Materials and Engineering,2005,290(5):463-467.
- [4] NORRIS C, HALE M, BENNETT M. Pyrolytic carbon: Factors controlling in-rubber performance[J]. Plastics, Rubber and Composites,2014,43(8):245-256.
- [5] BERKI P, GÖBL R, KARGER-KOCSIS J. Structure and properties of styrene-butadiene rubber (SBR) with pyrolytic and industrial carbon black[J]. Polymer Testing,2017,61:404-415.
- [6] MENG L J, FU C L, LU Q H. Functionalization of carbon nanotubes[J]. Progress in Natural Science,2009,19(2):148-157.
- [7] HELLEUR R, POPOVIC N, IKURA M, et al. Characterization and potential applications of pyrolytic char from ablative pyrolysis of used tires[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,2001,58:813-824.
- [8] ZHOU J, YU T M, WU S J. Inverse gas chromatography investigation of rubber reinforcement by modified pyrolytic carbon black from scrap tires[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research,2010,49(4):1691-1696.
- [9] 陈同海,张守玉,杨家操,等.碳纳米管和偶联剂协同作用对热塑性复合材料力学性能的影响[J]. 塑料科技,2022,50(1):14-17.
CHEN T H, ZHANG S Y, YANG J C, et al. Influence of carbon nanotubes and coupling agent on mechanical properties of thermoplastic composite[J]. Plastics Science and Technology,2022,50(1):14-17.
- [10] LILIANE B. Natural rubber nanocomposites: A review[J]. Nanomaterials,2018,9(1):12.
- [11] RAHMAT M, HUBERT P. Carbon nanotube-polymer interactions in nano composites: A Review[J]. Composites Science and Technology,2011,72(1):72-84.
- [12] 孟德营,陈晓燕,王贝贝,等.不同废旧轮胎裂解炭黑的性能研究[J]. 橡胶科技,2021,19(12):591-594.
MENG D Y, CHEN X Y, WANG B B, et al. Properties of pyrolysis carbon black from different waste tires[J]. Rubber Science and Technology,2021,19(12):591-594.
- [13] 杨楨,熊玉竹.橡胶材料耐磨性能研究进展[J]. 高分子通报,2020(9):15-30.
YANG Z, XIONG Y Z. Research progress of wear resistance of rubber materials[J]. Chinese Polymer Bulletin,2020(9):15-30.
- [14] AMINO N, UCHIYAMA Y. Relationship between the friction and viscoelastic properties of rubber[J]. Tire Science and Technology,2000,28(3):178-195.
- [15] 吴龚平,李金龙,周惠娣,等.胎面胶摩擦磨损、抗湿滑和滚动阻力性能及机理研究进展[J]. 材料保护,2016,49(8):56-61.
WU G P, LI J L, ZHOU H D, et al. Research progress in friction and wear, wet skid resistance and rolling resistance property and mechanism of tread[J]. Materials Protection,2016,49(8):56-61.
- [16] 张庆玲.三维碳材料/天然橡胶纳米复合材料的制备及性能研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2021:32-42.
ZHANG Q L. Preparation and properties of three-dimensional carbon materials/natural rubber nanocomposites[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology,2021:32-42.
- [17] 樊文礼,刘奕麟,瞿金磊,等.碳纳米管补强丁苯橡胶/聚氯乙烯共混物的研究[J]. 橡胶工业,2021,68(11):838-842.
FAN W L, LIU Y L, QU J L, et al. Study on SBR/PVC blends reinforced by carbon nanotubes[J]. China Rubber Industry,2021,68(11):838-842.
- [18] CHO M. The flexural and tribological behavior of multi-walled carbon nanotube-reinforced polyphenylene sulfide composites[J]. Materials transactions,2008,49(12):2801-2807.
- [19] KANAGARAJ S, VARANDA F R, ZHIL'TSOVA T V, et al. Mechanical properties of high density polyethylene/carbon nanotube composites[J]. Composites Science and Technology,2007,67(15/16):3071-3077.

Study on Reinforcement Effect of CBp and CNTs on Rubber

CHEN Baoping, BAI Yanying, LI Zhicheng, XIAO Jianbin

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: The properties of pyrolytic carbon black (CBp) reinforced natural rubber (NR)/butadiene rubber (BR) blend and CBp and CNTs synergistically reinforced solution-polymerized polystyrene-butadiene rubber (SSBR)/NR blend were investigated, and compared with carbon black N234 reinforced NR/BR blend and SSBR/NR blend, respectively. The results showed that, compared with carbon black N234, CBp could delay the vulcanizations of the compounds. Compared with carbon black N234 reinforced NR/BR blend, the $\tan\delta$ at 60 °C of CBp reinforced NR/BR blend was significantly smaller, indicating that CBp could reduce the rolling resistance of NR/BR blend to a certain extent. In CBp and CNTs synergistically reinforced SSBR/NR blend, the reinforcement effect of CNTs on SSBR/NR blend was obvious. The comprehensive physical properties of 30 phr CBp and 2 phr CNT synergistically reinforced SSBR/NR blend were equivalent to those of 20 phr carbon black N234 reinforced SSBR/NR blend, and the $\tan\delta$ at 0 °C increased, indicating that CNTs could improve the wet skid resistance of SSBR/NR blend.

Key words: CBp; CNTs; rubber; reinforcement effect; dynamic mechanical property

第14期全国轮胎结构设计技术高级培训班 在北京举办

由全国橡胶工业信息中心、中国化工学会橡胶专业委员会主办,北京橡胶工业研究设计院有限公司(简称北橡院)《橡胶科技》《轮胎工业》《橡胶工业》编辑部承办的第14期全国轮胎结构设计技术高级培训班于2023年6月4—10日在北京举办。来自国内轮胎及相关行业的90位学员参加了本期培训班。

北橡院副总经理兼国家橡胶轮胎质量检验检测中心主任马良清、北橡院总经理助理兼研发中心主任蔡庆、北橡院原副总工程师陈志宏、汕头市浩大轮胎测试装备有限公司总经理陈迅等出席了开班仪式。马良清代表主办方致辞。

本期培训班根据轮胎行业现状和市场变化,突出高性能轮胎设计和生产技术,课程内容注重轮胎结构设计和生产工艺实践案例分析,兼顾先进设计理论和仿真模拟技术,邀请马良清、杨卫民、危银涛、叶立、陈传慧、邓世涛、裴晓辉、李忠东、左文杰、蔡庆、徐丽红、罗之祥、陈迅13位知名专家、学者授课。本期培训班课程内容全面、新颖、前沿、实用、重点突出,系统、深入地分析了轿

车子午线轮胎、全钢载重子午线轮胎、全钢工程机械子午线轮胎、斜交载重和工程机械轮胎、农业子午线轮胎等主流轮胎品种的结构设计技术、设计实践、成品性能测试,介绍了轮胎设计结构理论、工艺与装备创新、非充气轮胎研究进展等,分享了轮胎产品设计与工艺的关系以及工艺问题解决案例,讲解了橡胶本构测试与轮胎空簧仿真等知识,从使用和剖析角度分析了国内外子午线轮胎的结构设计趋势,分享了轮胎结构设计自主工业软件的开发和应用案例,还解读了轮胎刚度试验方法、骨架材料的发展趋势、国内外轮胎标准动态与产品发展趋势等,全方位呈现了我国轮胎结构设计及相关领域的技术水平和发展方向。老师们还根据课程内容设计了试卷并答疑,以进一步巩固学员的学习效果。学员们踊跃提问,交流气氛十分活跃。培训班为考核合格的学员颁发了结业证书。

北橡院举办的全国轮胎结构/配方设计技术高级培训班创办于1997年,每年配方班和结构班交替举办,从未间断,参加本期培训班的学员来自40余家单位。本期培训班由汕头市浩大轮胎测试装备有限公司支持。

(本刊编辑部)