

综述·专论

炭黑在橡胶中分散技术的研究进展

富有斌¹, 吴晓辉^{1*}, 张立群¹, 王文才¹, 安 鲁², 王 宏²

(1. 北京化工大学 材料科学与工程学院先进弹性体材料研究中心, 北京 100029; 2. 青岛黑猫炭黑科技有限责任公司, 山东 青岛 266000)

摘要: 对于炭黑补强橡胶复合材料, 平衡生热、补强以及磨损之间的关系是炭黑应用的瓶颈问题。炭黑在橡胶基体中的分散性是影响其补强的关键因素之一, 从增强炭黑与橡胶之间的相互作用角度出发, 炭黑在橡胶中分散技术的研究进展主要体现在炭黑改性、橡胶改性以及液相复合技术方面。重点阐述炭黑的表面改性、聚合物基体的功能化改性以及炭黑与橡胶湿法混炼制备母胶, 旨在促进炭黑在橡胶中均匀纳米分散, 提高炭黑对橡胶的补强作用, 获得性能优异的炭黑/橡胶复合材料。

关键词: 炭黑; 橡胶; 表面改性; 功能化改性; 湿法混炼; 分散

中图分类号: TQ330.38⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2022)03-0228-06

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2022.03.0228



炭黑是一种无定形碳, 其结构类似于无序石墨, 是芳烃在高温下不完全燃烧形成。芳烃分子在高温下通过碳-氢键断裂而解离, 碳原子与芳族自由基可反应形成层状六边形碳环结构, 这些碳环倾向于堆叠成3—4层的晶体结构, 层面边缘主要由氢、自由基以及含氧官能团组成^[1-2], 炭黑表面结构如图1所示。碳环结构表面的酚羟基、羧基、内酯基、酸酐基和醌基等含氧官能团含量少, 但会直接影响炭黑的表面化学性质, 这些含氧官能团具有良好的化学反应性, 为炭黑的表面改性提供可能^[3-4]。

根据逾渗理论^[5], 纳米炭黑粒子在拉伸过程中

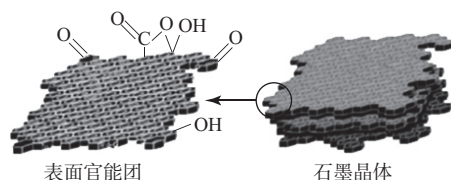


图1 炭黑表面结构

Fig. 1 Surface structure of carbon black

诱导产生橡胶分子链的平行伸直链结构, 从而对橡胶产生显著补强作用, 提高炭黑橡胶复合材料的拉伸强度和耐磨性能, 但是在橡胶分子伸直链形成过程中, 伸直链间的内摩擦增大, 进而导致复合材料的生热高。因此, 对于炭黑补强橡胶复合材料, 平衡复合材料的生热性能、拉伸强度以及磨损性能之间的关系是研究的热点和难点, 也是炭黑应用的瓶颈问题。炭黑在橡胶基体中的分散是影响复合材料的生热和磨损的关键因素, 从增强炭黑与橡胶之间的相互作用角度出发, 通过炭黑改性、橡胶改性和液相复合技术等方法可制备综合性能优异的炭黑/橡胶复合材料。

本文综述了炭黑在橡胶中分散技术的研究进展, 重点阐述炭黑的表面改性、聚合物基体的功能化改性以及炭黑与橡胶湿法混炼制备母胶的研究进展, 目的在于促进炭黑在橡胶中均匀纳米分散, 增强炭黑与橡胶之间的相互作用, 提高炭黑对橡胶的补强效应, 以期获得性能优异的炭黑/橡胶复

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51790501)

作者简介: 富有斌(1995—), 男, 甘肃武威人, 北京化工大学在读硕士研究生, 主要从事橡胶湿法混炼方面的研究工作。

*通信联系人(wuxiaohui@mail.buct.edu.cn)

引用本文: 富有斌, 吴晓辉, 张立群, 等. 炭黑在橡胶中分散技术的研究进展[J]. 橡胶工业, 2022, 69(3): 228-233.

Citation: FU Youbin, WU Xiaohui, ZHANG Liqun, et al. Research progress of carbon black dispersion technology in rubber[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(3): 228-233.

合材料。

1 炭黑的表面改性

若炭黑在橡胶中实现良好分散,需炭黑与橡胶达到热力学相容,从而要求炭黑与橡胶的表面能尽可能相等^[6]。但炭黑的表面能高于橡胶,因此需对炭黑表面进行物理和化学改性,以降低炭黑的表面能。

等离子体聚合是一种发展迅速的对聚合物、金属和粉体等表面改性的技术。在炭黑表面改性领域,改性技术主要表现为在炭黑表面沉积1层薄膜和炭黑在不同等离子体中的表面功能化。T. MATHEW等^[7]以乙炔等离子体处理富勒烯炭黑,炭黑的表面能从 $70 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 下降至 $50 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$,因此改性后炭黑/橡胶复合材料表现出更低的Payne效应。S. J. PARK等^[8]采用氧等离子体对炭黑进行表面改性,能够使炭黑表面的羰基、酯基和羧基等含氧官能团浓度提高,氧/碳元素含量比(O_{1s}/C_{1s})增加,表面能从 $42 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$ 降至 $19 \text{ mJ} \cdot \text{m}^{-2}$,因此显著改善炭黑在橡胶中分散,提高炭黑/橡胶复合材料的撕裂强度和拉伸强度。

在炭黑表面接枝聚合物或官能团也可降低炭黑的表面能,进而改善炭黑在橡胶中分散,提高炭黑补强效应。付文等^[9]利用浓硝酸对炭黑氧化改性,然后异氰酸酯化处理,最后与聚乙二醇400发生化学反应,即采用原位液相接枝技术成功将聚乙二醇接枝在炭黑表面,如图2所示(CB为炭黑)。F. CATALDO^[10]利用三氧化二氮、一氧化氮和四氧化二氮在炭黑表面引入硝基、亚硝基等。贾德民等^[11-12]利用甲基丙烯酸在炭黑的表面引入双键。以上方法均促进炭黑在橡胶中分散,炭黑/橡胶复合材料的耐磨性能提高,滚动阻力和动态生热降低。

电子辐照技术是采用高能电子束照射材料,改善材料性能的技术。Y. P. WU等^[13]采用高能电子束辐照炭黑粒子,能够使炭黑的大颗粒数量减少,小颗粒炭黑数量增加,从而使炭黑颗粒尺寸趋向均匀,且能够增加含氧官能团的数量,如图3所示。该方法降低炭黑的表面能,促进炭黑在橡胶中分散,炭黑/橡胶复合材料的结合胶含量、抗湿滑性能和耐磨性能提高,滚动阻力降低。

偶联剂是一种分子中同时含有两种性质官能

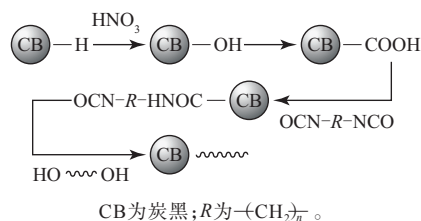


图2 炭黑表面原位液相接枝聚乙二醇

Fig. 2 In situ liquid phase grafting of polyethylene glycol onto carbon black surface

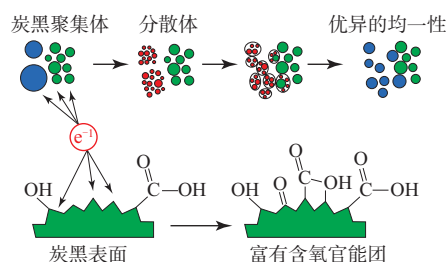


图3 电子束辐照改性炭黑示意

Fig. 3 Schematic diagram of carbon black modified by electron beam irradiation

团的化合物,其分子的一端能够与无机物反应,另一端能够与有机物结合^[14-15],通过偶联剂在填料与橡胶之间构建“桥梁”,可促进填料分散。P. RAUT等^[16]开发一种新型偶联剂聚-丁二烯接枝五氟苯乙烯,其分子中的聚丁二烯单元能够与橡胶基体发生交联反应,五氟苯乙烯单元由于缺电子特性能够与富电子的炭黑产生 $\pi-\pi$ 相互作用^[17],从而改善炭黑在橡胶基体中分散,作用机理如图4所示。J. J. HAN等^[18]发现乙烯基吡啶(VP)的吡啶官能团可与炭黑表面的酸性官能团如羧基、羟基等反应形成离子键和氢键,作用机理如图5所示,从而增强炭黑与橡胶之间的相互作用,降低炭黑的网络结构和炭黑/橡胶复合材料的滞后损失。刘权等^[19]和孙阿彬等^[20]研究表明常规硅烷偶联剂如 γ -氨丙基三乙氧基硅烷(KH550)和乙烯基三乙氧基硅烷(VTEO)能够与炭黑表面的官能团发生化学反应,具有调节炭黑/橡胶复合材料的磨耗与生热矛盾的潜力。

2 聚合物基体的功能化改性

为了提高炭黑在聚合物基体中分散,可对聚合物基体进行功能化改性。如将环氧基、羧基、氨基以及其他官能团直接引入聚合物主链上,从而使功能化的聚合物可与炭黑表面的官能发生相互

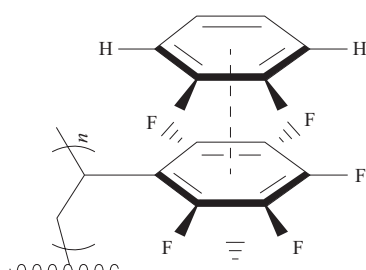


图4 芳烃-全氟芳烃 π - π 的作用机理
Fig 4 The π - π action mechanism of aromatics-perfluorinated aromatics

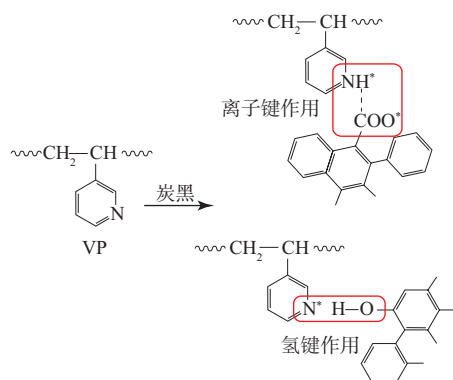
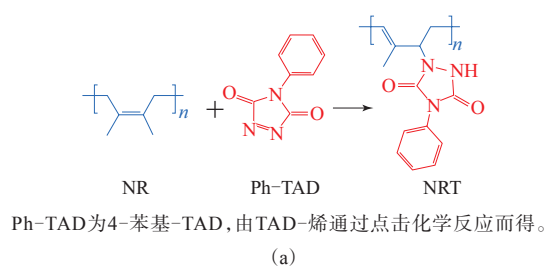


图5 VP与炭黑之间的作用机理
Fig. 5 Mechanism of interaction between VP and carbon black

作用。

董智贤等^[21]采用马来酸酐接枝天然橡胶(NR),付文等^[22]采用聚乙二醇400改性天然橡胶,均促进炭黑在橡胶基体中分散。S. F. FANG等^[23]利用三唑啉二酮(TAD)-烯,通过点击化学反应将活性脲基引入NR主链,形成的改性天然橡胶(NRT)如图6(a)所示;NRT与炭黑之间的作用机理见图6(b),作用具体方式如下:(1)NRT中脲基与炭黑形成共价作用;(2)NRT中脲基与炭黑羧基和羟基形成氢键作用;(3)NRT中脲基的活性氨基官能团可与炭黑发生 π - π 相互作用,因此促进NR与炭黑之间的界面相互作用,改善分散性,显著降低炭黑/NR复合材料的滚动阻力。

M. L. HUANG等^[24]设计了一种同时具有可热分解的碳-碳单键和可聚合的碳-碳双键的单体苯乙烯(St)-丁二烯(Bd)-对-(2,2'-二苯乙基)St(DPES),DPES与Bd和St溶液聚合制备St-Bd-DPES橡胶(SBDR),分解生成的自由基被炭黑表面芳环捕获,形成由共价键构成的SBDR聚合物接枝炭黑,炭黑表面捕获SBDR自由基机理如



Ph-TAD为4-苯基-TAD,由TAD-烯通过点击化学反应而得。

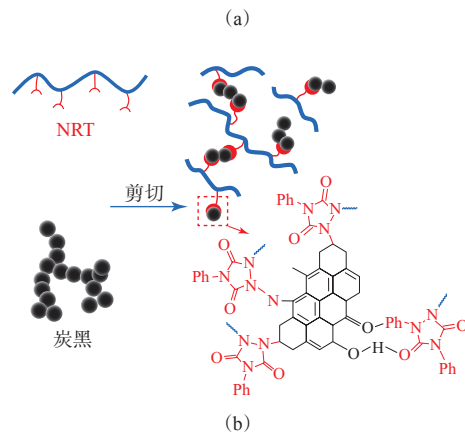


图6 Ph-TAD改性NR与炭黑之间的界面作用机理
Fig. 6 Mechanism of interfacial interaction between Ph-TAD modified NR and carbon black

图7所示。研究表明随着DPES含量增加,SBDR聚合物接枝炭黑复合材料的拉伸强度提高,抗湿滑性能和滚动阻力显著改善。

3 炭黑与橡胶湿法混炼制备母胶

炭黑与橡胶湿法混炼制备母胶主要步骤如下:首先将炭黑配制成炭黑悬浮液,然后加入胶乳中,在适宜工艺下使得炭黑均匀分散在橡胶基体中,最后通过适宜方法破坏乳液体系稳定性,使得炭黑粒子和橡胶粒子共同絮凝,脱水干燥得到炭黑母胶^[25]。这种母胶能够改善炭黑在橡胶基体中分散性,提高复合材料的综合性能,且能够解决常规机械混炼过程中高污染和高能耗问题。

美国卡博特公司提出了湿法混炼概念,即利用连续液相方法生产炭黑填充NR母胶^[26],该母胶制备的轮胎胎面胶料的滚动阻力小,耐磨性能优异。吴明生等^[27]用水、氢氧化钾、酪素以及扩散剂亚甲基二萘磺酸钠溶液将炭黑浸润,然后将混合液在高压均质机内乳化得到稳定炭黑分散体,按照比例把炭黑分散体与胶乳混合搅拌,并取2/3混合液在高压均质机内高压喷射发生附聚,最后将所有混合乳液与天然胶乳混合并加酸凝固,水洗

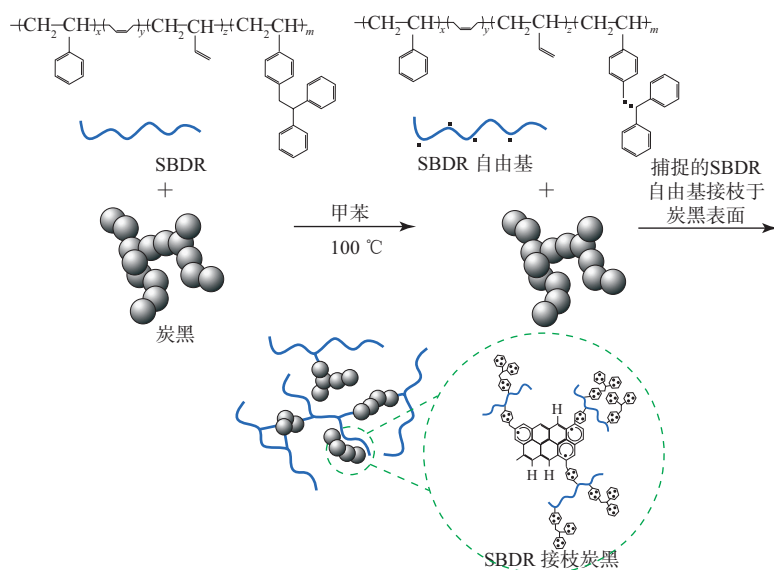


图7 炭黑表面捕获SBDR自由基机理

干燥得到炭黑分散良好和物理性能优异的炭黑母胶。Y. W. QIU等^[28]通过高速剪切制备不含乳化剂的炭黑悬浮液与丁苯胶乳混合得到结合胶含量高、Payne效应低和具备耐磨性能的炭黑/丁苯橡胶母胶。

王益庆等^[29]选用小分子易挥发溶剂乙醇对炭黑进行浸润处理,然后与天然胶乳搅拌混合絮凝得到炭黑母胶,并公布一种预絮凝-逆絮凝的改进工艺^[30],选用氯化钙和氯化钠作为复合絮凝剂,将胶乳倒入絮凝剂中进行絮凝,絮凝效果良好,母胶粒子间存在很多空隙,有利于烘干。

J. J. HAN等^[31]通过喷射复合技术制备炭黑/橡胶复合材料,即炭黑浆液与天然胶乳在喷射混合器内发生碰撞,利用悬浮液与胶乳之间巨大的速度差实现炭黑在橡胶中均匀、稳定分散。该技术未使用任何表面活性剂,填料与橡胶之间的相互作用改善,制得炭黑/天然橡胶复合材料的物理性能和耐磨性能明显提高。

王敬东等^[32]采用喷雾干燥法制备粉末橡胶,即采用喷雾干燥机将炭黑浆液和胶乳的混合液通过雾化器进行雾化分散处理,雾滴经热干燥介质(空气)加热后除去水分,最终得到粉末橡胶。王益庆等^[33]公布了一种半开式过热蒸汽喷雾干燥法制备高填充复合母胶的方法,采用过热蒸汽作为干燥介质,解决了热空气干燥时橡胶高分子链易

降解的难题。

在制备母胶过程中, X. L. HE等^[34-36]采用苯乙烯磺酸钠和硫酸铵、金深波等^[37]采用聚苯乙烯磺酸钠、李晓林等^[38]采用醇类物质对炭黑改性, 然后改性炭黑与胶乳共同絮凝沉降, 得到综合性能优异的炭黑母胶。

4 结语

目前,炭黑是橡胶工业中应用最广泛的补强填料。通过炭黑的表面改性、聚合物基体的功能化改性以及炭黑与橡胶湿法混炼制备母胶的方式提高炭黑在橡胶中分散性,不仅可以改善橡胶制品的物理性能,如降低磨耗和滚动阻力,还能解决橡胶加工过程中粉尘污染、耗能高等问题。

为了使炭黑向绿色填料方向发展,并使其能够在橡胶中发挥更好补强效果,未来研究应继续关注通过简单环保的改性技术制备具有新颖功能和性质的改性炭黑,从而制备满足使用要求的改性炭黑/橡胶复合材料,以及寻找节能环保高效方法制备炭黑母胶,实现炭黑母胶的连续化生产和规模化应用。

参考文献:

- [1] CHEN X, FARBER M, GAO Y M, et al. Mechanisms of surfactant adsorption on non-polar, air-oxidized and ozone-treated carbon surfaces[J]. Carbon, 2003, 41 (8) : 1489-1500.

- [2] DONNET J B, CUSTODÉRO E, WANG T K, et al. Energy site distribution of carbon black surface by inverse gas chromatography at finite concentration conditions[J]. Carbon, 2002, 40 (2) : 163-167.
- [3] QUAN Y, LIU Q F, ZHANG S L, et al. Comparison of the morphology, chemical composition and microstructure of cryptocrystalline graphite and carbon black[J]. Applied Surface Science, 2018, 445: 335-341.
- [4] PYUM S I, LEE E J, KIM T Y, et al. Role of surface oxides in corrosion of carbon black in phosphoric acid solution at elevated temperature[J]. Carbon, 1994, 32 (1) : 155-159.
- [5] WANG Z H, LIU J, WU S H, et al. Novel percolation phenomena and mechanism of strengthening elastomers by nanofillers[J]. Physical Chemistry Chemical Physics, 2010, 12 (12) : 3014-3030.
- [6] DING W B, WANG L, YANG Q, et al. Progress on polymer grafted carbon black and its novel applications[J]. Polymer Processing, 2013, 28 (2) : 134-142.
- [7] MATHEW T, DATTA R N, DIERKES W K, et al. Plasma polymerization surface modification of carbon black and its effect in elastomers[J]. Macromolecular, 2011, 296 (1) : 42-52.
- [8] PARK S J, CHO K S, RYU S K. Filler-elastomer interactions: Influence of oxygen plasmatreatment on surface and mechanical properties of carbon black/rubber composites[J]. Carbon, 2003, 41 (17) : 1437-1442.
- [9] 付文, 刘安华, 杨军. 原位接枝改性炭黑对天然橡胶性能的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2014, 42 (6) : 51-56, 72.
FU W, LIU A H, YANG J. Effects of in-situ grafting-modified carbon black on properties of natural rubber[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 42 (6) : 51-56, 72.
- [10] CATALDO F. Carbon black nitration and nitrosation and its application to improve the mechanical hysteresis of a rubber tread compound[J]. Die Angewandte Makromolekulare Chemie, 1999, 270: 81-86.
- [11] 贾德民, 张喜亮. 乙烯基单体改性炭黑的方法[P]. 中国: CN 00117233, 2001-01-10.
- [12] 张喜亮, 涂善东, 贾德民. 甲基丙烯酸固态原位接枝改性炭黑对天然橡胶和顺丁橡胶性能的影响[J]. 合成橡胶工业, 2005, 28 (4) : 293-295.
ZHANG X L, TU S D, JIA D M. Effect of methylacrylic acid modified carbon black on properties of natural rubber and butadiene rubber[J]. China Synthetic Rubber Industry, 2005, 28 (4) : 293-295.
- [13] WU Y P, WEN S P, SHEN J, et al. Improved dynamic properties of natural rubber filled with irradiation-modified carbon black[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2015, 111: 91-97.
- [14] ZHENG J C, HAN D L, YE X. Chemical and physical interaction between silane coupling agent with long arms and silica and its effect on silica/natural rubber composites[J]. Polymer, 2018, 135: 200-210.
- [15] 李祥婷, 宋学超, 孙阿超. 偶联剂改性补强填充剂及其在橡胶中的应用研究[J]. 轮胎工业, 2020, 40 (8) : 458-464.
- LI X T, SONG X C, SUN A C. Application of coupling agent in filler modification and rubber compound[J]. Tire Industry, 2020, 40 (8) : 458-464.
- [16] RAUT P, SWANSON N, KUIKARNI A, et al. Exploiting arene-perfluoroarene interactions for dispersion of carbon black in rubber compounds[J]. Polymer, 2018, 148: 247-258.
- [17] BAHL K, SWANSON N, PUGH C, et al. Polybutadiene-g-poly(pentafluorostyrene) as a coupling agent for lignin-filled rubber compounds[J]. Polymer, 2014, 55: 6754-6763.
- [18] HAN J J, ZHANG X L, GUO W H, et al. Effect of modified carbon black on the filler-elastomer interaction and dynamic mechanical properties of SBR vulcanizates[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 100 (5) : 3707-3712.
- [19] 刘权, 谭莲影, 陈晓艳. 硅烷偶联剂KH550对炭黑填充天然橡胶性能的影响[J]. 橡胶工业, 2018, 65 (1) : 51-55.
LIU Q, TAN L Y, CHEN X Y. Effect of silane coupling agent KH550 on properties of carbon black filled natural rubber[J]. China Rubber Industry, 2018, 65 (1) : 51-55.
- [20] 孙阿彬, 刘勋聪, 王琦, 等. 热解炭黑的研磨和偶联改性及其对丁苯橡胶的补强作用研究[J]. 橡胶工业, 2020, 67 (12) : 924-928.
SUN A B, LIU X C, WANG Q, et al. Grinding and coupling modification of pyrolysis carbon black and its reinforcing effect on SBR[J]. China Rubber Industry, 2020, 67 (12) : 924-928.
- [21] 董智贤, 贾德民, 周彦豪. 马来酸酐改性天然橡胶/炭黑复合材料的性能[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2006, 34 (5) : 94-98.
DONG Z X, JIA D M, ZHOU Y H. Properties of natural rubber/black carbon composite modified with maleic anhydride[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2006, 34 (5) : 94-98.
- [22] 付文, 刘安华, 杨军. 原位接枝改性炭黑对天然橡胶性能的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2014, 42 (6) : 51-56, 72.
FU W, LIU A H, YANG J. Effects of in-situ grafting-modified carbon black on properties of natural rubber[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 42 (6) : 51-56, 72.
- [23] FANG S F, WU S W, HUANG J, et al. Notably improved dispersion of carbon black for high-performance natural rubber composites via triazolinedione click chemistry[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2020, 59 (48) : 21047-21057.
- [24] HUANG M L, LU J M, HAN B Y, et al. Covalent grafting approach for improving the dispersion of carbon black in styrene-butadiene rubber composites by copolymerizing p-(2, 2'-diphenylethyl) styrene with a thermally decomposed triphenylethane pendant[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2016, 55 (35) : 9459-9467.
- [25] 李俊, PRAKASH A, MORRIS M, 等. 通过液相混合制备具有优异耐疲劳性和耐磨性的胶料[J]. 现代橡胶技术, 2016, 42 (4) : 41-46.
LI J, PRAKASH A, MORRIS M, et al. Preparation of rubber compound with excellent fatigue resistance and abrasion resistance

- through liquid phase mixing[J]. Advanced Rubber Technology, 2016, 42(4): 41–46.
- [26] WANG M J, WANG T, SHELL J, et al. NR/Carbon black masterbatch produced with continuous liquid phase mixing[J]. Elastomers and Plastics, 2002, 55: 388–421.
- [27] 吴明生, 张磊. 乳液压力附聚法制备炭黑/NR胶料的研究[J]. 橡胶工业, 2011, 58(1): 16–20.
- WU M S, ZHANG L. Study on carbon black/NR compound prepared by latex a agglomeration under pressure[J]. China Rubber Industry, 2011, 58(1): 16–20.
- [28] QIU Y W, ZHANG A Q, WANG L S. Carbon black-filled styrene butadiene rubber masterbatch based on simple mixing of latex and carbon black suspension: Preparation and mechanical properties[J]. Journal of Macromolecular Science, Part B, 2015, 54(12): 1541–1553.
- [29] 王益庆, 沈家锋. 一种制备高性能炭黑母胶的工艺方法[P]. 中国: CN 103819760A, 2014–05–28.
- [30] 王虹, 沈家锋, 王益庆, 等. 乙醇预絮凝炭黑/天然橡胶共沉胶的制备、结构与性能研究[J]. 橡胶工业, 2017, 64(5): 261–265.
- WANG H, SHEN J F, WANG Y Q, et al. Preparation, structure and properties of ethanol flocculated carbon black/natural rubber composites[J]. China Rubber Industry, 2017, 64(5): 261–265.
- [31] HAN J J, ZHANG Y D, WU C F, et al. Effects of renolds number on the dispersion of CB in natural rubber latex and filler–rubber intefacial interaction in high speed jet flow field[J]. Polymer Composites, 2013, 34: 1071–1075.
- [32] 王敬东, 朱跃峰, 周湘文, 等. 喷雾干燥法制备粉末橡胶及其硫化性能研究[J]. 橡胶工业, 2005, 52(9): 535–539.
- WANG J D, ZHU Y F, ZHOU X W, et al. Preparation of powdered NR by spray drying method and study on its curing behaviour[J]. China Rubber Industry, 2005, 52(9): 535–539.
- [33] 王益庆, 沈家锋, 张志辉, 等. 一种半开式过热蒸汽喷雾干燥法制备高填充复合母胶的方法[P]. 中国: CN 105419009A, 2015–11–29.
- [34] HE X L, ZHANG Y, WU C F, et al. Reinforcing mechanism of a novel hydrophilic nano-carbon black in natural rubber latex[J]. Journal of Macromolecular Science, Part B, 2017, 56(10): 762–774.
- [35] 刘璇, 韩晶杰, 谢林生, 等. 过硫酸铵改性炭黑通过胶乳混合补强天然橡胶胶乳[J]. 高分子材料科学与工程, 2012, 28(10): 129–132.
- LIU H, HAN J J, XIE L S, et al. Ammonium persulfate modified carbon black and its reinforcement in natural rubber latex by latex compounding technique[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2012, 28(10): 129–132.
- [36] HAN J J, GE Y, ZHANG Y D, et al. Preparation of water-suspensible carbon nanoparticles and their influence on the properties of epoxidized natural rubber latex[J]. Journal of Macromolecular Science, Part B, 2017, 56(6): 409–419.
- [37] 金深波, 杜一凡, 刘辉辉, 等. 亲水性炭黑-天然橡胶纳米复合材料的制备及性能[J]. 功能高分子学报, 2015, 28(2): 147–152.
- JIN S B, DU Y F, LIU H H, et al. Preparation and properties of hydrophilic carbon black-natural rubber nanocomposites[J]. Journal of Functional Polymers, 2015, 28(2): 147–152.
- [38] 李晓林, 曹金鹏, 吴晓辉, 等. 一种湿法混炼制备炭黑母胶的方法[P]. 中国: CN 109517195A, 2019–03–26.

收稿日期: 2021–09–16

Research Progress of Carbon Black Dispersion Technology in Rubber

FU Youbin¹, WU Xiaohui¹, ZHANG Liqun¹, WANG Wencai¹, AN Lu², WANG Hong²

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. Qingdao Black Cat Carbon Black Technology Co., Ltd, Qingdao 266000, China)

Abstract: For carbon black reinforced rubber composites, balance between heat generation, reinforcement and abrasion was the bottleneck problem in the application of carbon black. The dispersibility of carbon black in the rubber matrix was one of the key factors affecting its reinforcement. From the perspective of improving the interaction between carbon black and rubber, research progress of carbon black dispersion technology in rubber was mainly summarized in carbon black modification, rubber modification and liquid phase composite technology. The research progress of surface modification of carbon black, functional modification of polymer matrix and preparation of masterbatch of carbon black by wet mixing were discussed in details, providing a reference for the future work of improvement of the uniform nano-dispersion of carbon black in rubber, enhancement of the reinforcement of carbon black to rubber, and fabrication of the carbon black/rubber composites with excellent performance.

Key words: carbon black; rubber; surface modification; functional modification; wet mixing; dispersion