

翻新工程机械轮胎胎面胶补强剂的研究

王 强, 齐晓杰*, 王云龙, 姜 莉

(黑龙江工程学院 汽车与交通工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150050)

摘要: 在26.5R25翻新工程机械轮胎胎面胶配方中添加炭黑和白炭黑, 研究其对胎面胶的补强效果。结果表明: 单一品种炭黑补强胎面胶时, 炭黑N151用量为40份时补强效果较佳; 炭黑N330与其他品种炭黑并用补强胎面胶时, 炭黑N330用量为40份、其他品种炭黑用量为20份时补强效果较佳; 炭黑N330与白炭黑并用补强胎面胶时, 炭黑N330用量为40份、白炭黑用量为20份时补强效果较为理想, 胎面胶的耐磨性能和抗崩花掉块性能均提高; 炭黑补强胎面胶机理可应用分子链滑动理论解释, 胎面胶中炭黑含量有最佳值, 橡胶分子链与炭黑颗粒之间的有效融合吸附阻止了橡胶分子链发生形变和拉伸, 从而对橡胶起到补强作用。

关键词: 翻新工程机械轮胎; 胎面胶; 炭黑; 白炭黑; 补强

中图分类号: TQ336.1⁺6; U463.341⁺5; X783.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2018)08- -05

近年来, 矿山开采、建筑施工等行业迅速发展, 对工程机械轮胎的需求量与日俱增。工程机械轮胎通常在土石方等露天矿采区作业, 承载大、频繁启动和制动、受凸起物冲击力大, 废旧轮胎的产生较快且量较大^[1-2]。因此, 提高工程机械轮胎的翻新率, 可有效提高废旧工程机械轮胎的利用率, 有利于节约橡胶资源和促进绿色环保。目前, 相关研究主要集中在轮胎翻新行业状况和相关政策分析以及载重轮胎翻新方面^[3-5]。翻新工程机械轮胎由于基础技术缺乏, 在使用过程中经常出现胎面不耐磨、易崩花掉块, 甚至出现胎面脱层、轮胎爆破等问题, 严重影响其推广应用。

本工作以26.5R25翻新工程机械轮胎胎面胶为例, 研究添加炭黑和白炭黑补强剂对胎面胶的补强效果, 以期为翻新工程机械轮胎性能的提高、翻新工艺的优化和使用推广提供理论指导。

1 实验

1.1 主要原材料

胎面翻新用主要原材料由哈尔滨惠良轮胎翻

基金项目: 黑龙江省自然科学基金资助项目(E2015025); 哈尔滨市青年后备人才研究专项基金资助项目(2016RAQXJ053); 黑龙江工程学院博士基金资助项目(2015BJ05)。

作者简介: 王强(1981—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 黑龙江工程学院副教授, 博士, 主要从事翻新轮胎技术及车辆行驶安全性等方面研究工作。

*通信联系人(qxj725@sina.com)

新有限公司提供。

1.2 基本配方

天然橡胶(NR) 65, 丁苯橡胶(SBR1500) 35, 氧化锌 5, 硬脂酸 2, 防老剂WH-02 2, 防臭氧蜡 0.4, 芳烃油X-140 3, 加工助剂HNZ 1.6, 增粘剂C501 2, 促进剂NS 1.6, 抗硫化返原剂WK-901 1.5, 硫黄 1.6, 补强剂 变品种、变量。

1.3 主要设备和仪器

YS160D型开炼机和YS20T-S型平板硫化机, 上海冶帅精密科技有限公司产品; TH-5000型橡胶拉力试验机、TH-7102型阿克隆磨耗机和TH-901型邵尔硬度计, 江苏天惠试验机械有限公司产品; YH3600型炭黑分散度仪, 上海皆准仪器设备有限公司产品。

1.4 试样制备

胶料在开炼机上进行混炼, 混炼温度为120℃, 转子转速为40 r·min⁻¹。胶料混炼加料顺序如下^[6-8]。

单一品种炭黑补强胶料: 生胶→防老剂、氧化锌、硬脂酸→炭黑和增粘剂C501→防臭氧蜡、加工助剂HNZ→芳烃油和抗硫化返原剂WK-901→防老剂、促进剂、硫黄→薄通3次下片。

炭黑N330与其他品种炭黑(或白炭黑)并用补强胶料: 生胶→防老剂、氧化锌、硬脂酸→炭黑

N330→防臭氧蜡、加工助剂HNZ→并用炭黑(或白炭黑)、增粘剂C501→芳烃油、抗硫化返原剂WK-901→防老剂、促进剂、硫黄→薄通3次下片。

胶料采用平板硫化机硫化,硫化条件为130℃×20 min。

1.5 性能测试

邵尔A型硬度按GB/T 531—2008测定;300%定伸应力和拉伸强度按GB/T 528—2009测定;撕裂强度按GB/T 529—2008测定;阿克隆磨耗量按GB/T 1689—1998测定。

2 结果与讨论

2.1 单一品种炭黑的影响

单一品种炭黑的用量对翻新胎面胶物理性能的影响如表1所示。

表1 单一品种炭黑的用量对翻新胎面胶物理性能的影响

项 目	炭黑用量/份				
	30	40	50	60	70
邵尔A型硬度/度					
炭黑N330	64	65	68	69	65
炭黑N231	64	65	68	69	65
炭黑N151	64	69	65	66	63
炭黑N660	65	65	67	70	67
300%定伸应力/MPa					
炭黑N330	16.53	18.13	19.83	18.42	15.27
炭黑N231	16.74	18.25	19.75	21.48	17.86
炭黑N151	17.14	21.35	18.46	20.36	19.73
炭黑N660	15.44	18.17	16.11	19.43	17.27
拉伸强度/MPa					
炭黑N330	22.12	23.64	24.73	23.98	20.33
炭黑N231	22.23	23.75	24.76	25.96	23.25
炭黑N151	23.25	25.76	24.66	23.99	23.40
炭黑N660	20.42	21.33	20.78	22.87	18.25
拉断伸长率/%					
炭黑N330	420	432	456	437	401
炭黑N231	422	434	453	468	429
炭黑N151	428	467	439	478	431
炭黑N660	420	416	454	465	401
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)					
炭黑N330	65	67	68	67	64
炭黑N231	66	67	68	70	68
炭黑N151	68	72	70	67	67
炭黑N660	63	65	64	67	60
阿克隆磨耗量/cm ³					
炭黑N330	0.38	0.36	0.32	0.34	0.43
炭黑N231	0.38	0.36	0.31	0.28	0.38
炭黑N151	0.34	0.24	0.31	0.28	0.38
炭黑N660	0.43	0.41	0.36	0.31	0.42

从表1可以看出:随着炭黑N330,N231和N151用量的增大,胎面胶的拉伸强度和撕裂强度均出现先提高后下降的趋势,转折点出现时的炭黑用量分别为50,60和40份;随着炭黑N660用量的增大,胎面胶的拉伸强度和撕裂强度变化规律不明显。炭黑N151补强胎面胶的撕裂强度最高,且拉伸强度与炭黑N231补强胎面胶接近。

从表1还可以看出:炭黑N231补强胎面胶的300%定伸应力和拉断伸长率变化趋势与炭黑N330补强胎面胶相同,均是先提高后降低,转折点分别出现在炭黑N231用量为60份、炭黑N330用量为50份时;炭黑N151补强胎面胶和炭黑N660补强胎面胶的300%定伸应力的变化规律不明显;关于阿克隆磨耗量,炭黑N151补强胎面胶在炭黑用量为40份时最小,炭黑N330补强胎面胶在炭黑用量为50份时最小,炭黑N231和炭黑N660补强胎面胶均在炭黑用量为60份时最小;炭黑N151补强胎面胶的硬度最大值出现在炭黑用量为40份时,炭黑N231,N330和N660补强胎面胶的硬度最大值均出现在炭黑用量为60份时。

综上分析可知:炭黑N151,N231,N330和N660用量分别为40,60,50和60份时,对胎面胶的补强效果较佳;炭黑N151补强胎面胶的各项物理性能更为理想,可以优先选择作为胎面胶的补强剂。

2.2 炭黑N330与其他品种炭黑并用的影响

炭黑N330(用量为40份)与其他品种炭黑并用对翻新胎面胶物理性能的影响如表2所示。

从表2可以看出:随着并用炭黑N231和N660用量的增大,胎面胶的300%定伸应力、拉伸强度、拉断伸长率和撕裂强度均出现先上升后下降的趋势,转折点均位于并用炭黑用量为20份时;随着并用炭黑N151用量的增大,胎面胶的300%定伸应力、拉伸强度、拉断伸长率和撕裂强度呈下降趋势。

从表2还可以看出:随着并用炭黑N231用量的增大,胎面胶的阿克隆磨耗量先减小后增大,转折点出现在炭黑用量为20份时;随着并用炭黑N151用量的增大,胎面胶的阿克隆磨耗量呈增大趋势;随着并用炭黑N660用量的增大,胎面胶的阿克隆

表2 炭黑N330与其他炭黑并用对翻新胎面胶物理性能的影响

项 目	并用炭黑用量/份			
	10	20	30	40
邵尔A型硬度/度				
炭黑N231	64	65	68	67
炭黑N151	67	65	64	64
炭黑N660	65	65	66	67
300%定伸应力/MPa				
炭黑N231	16.94	22.41	20.83	17.15
炭黑N151	22.43	20.14	18.71	17.33
炭黑N660	15.66	17.23	17.13	16.94
拉伸强度/MPa				
炭黑N231	24.36	25.64	24.80	23.98
炭黑N151	26.24	24.35	22.16	20.11
炭黑N660	16.36	17.68	17.85	17.43
拉断伸长率/%				
炭黑N231	512	524	510	501
炭黑N151	542	526	502	489
炭黑N660	467	472	474	469
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)				
炭黑N231	72	75	73	71
炭黑N151	76	72	70	66
炭黑N660	65	67	68	67
阿克隆磨耗量/cm ³				
炭黑N231	0.36	0.28	0.35	0.40
炭黑N151	0.22	0.26	0.36	0.43
炭黑N660	0.44	0.45	0.46	0.44

磨耗量先增大后减小,转折点出现在炭黑用量为30份时;随着并用炭黑N231用量的增大,胎面胶的邵尔A型硬度先增大后减小,转折点出现在炭黑用量为30份时;随着并用炭黑N151用量的增大,胎面胶的邵尔A型硬度呈减小趋势;随着并用炭黑N660用量的增大,胎面胶的邵尔A型硬度呈增大趋势。

综上所述可知,并用炭黑N151,N231和N660用量均为20份时,对胎面胶的补强效果最佳。

2.3 炭黑N330与白炭黑并用的影响

炭黑N330(用量为40份)与白炭黑并用对翻新胎面胶物理性能的影响如表3所示。

从表3可以看出:随着并用白炭黑用量的增大,胎面胶的300%定伸应力、拉伸强度、拉断伸长率和撕裂强度均出现先上升后下降的趋势,转折点出现在白炭黑用量为20份时;阿克隆磨耗量先减小后增大,白炭黑用量为20份时阿克隆磨耗量最小。

综上所述可知,白炭黑用量为20份时,炭黑

表3 炭黑N330与白炭黑并用对翻新胎面胶物理性能的影响

项 目	白炭黑用量/份			
	10	20	30	40
邵尔A型硬度/度	65	69	67	68
300%定伸应力/MPa	20.64	23.53	21.13	19.64
拉伸强度/MPa	24.21	28.72	25.16	22.83
拉断伸长率/%	503	526	506	492
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	68	77	68	62
阿克隆磨耗量/cm ³	0.28	0.24	0.30	0.36

N330/白炭黑并用对胎面胶的补强效果最佳,且胎面胶的各项物理性能优于炭黑N330与炭黑N151,N231和N660并用补强胎面胶,可以优先选择白炭黑作为胎面胶的补强剂。

2.4 耐磨性能实车测试

哈尔滨惠良汽车轮胎翻新有限公司分别以炭黑N151(用量为40份)和炭黑N330(用量为40份)/白炭黑(用量为20份)作为胎面胶补强剂,制备两种胎面胶并应用于26.5R25翻新工程机械轮胎。两种翻新工程机械轮胎在哈尔滨市帽儿山矿石区域使用,使用时间为2015年3月—2016年12月,其耐磨性能、抗崩花掉块性能与普通翻新工程机械轮胎的对比结果如表4所示。

表4 耐磨和抗崩花掉块性能对比

翻新工程机械轮胎	磨耗高度/mm	崩花掉块程度
炭黑N151	24	轻微
炭黑N330/白炭黑并用	25	轻微
普通工程翻新轮胎	30	严重

由表4可知,与普通翻新工程机械轮胎相比,试验翻新工程机械轮胎的磨耗高度减小了5~6 mm,抗崩花掉块性能也得到了较大改善,补强剂起到有效的补强作用。

2.5 补强机理

炭黑对橡胶的补强效果与炭黑颗粒大小和吸附比表面积等参数有关,试验所用炭黑和白炭黑的物理参数如表5所示^[9]。

理论上炭黑颗粒越小,对橡胶的补强效果越好,但前提是炭黑用量适宜且具有良好的分散度,从而真正起到补强作用^[6-7]。

图1和2分别示出了炭黑N151(用量为40份)和炭黑N330(用量为40份)/白炭黑(用量为20份)在胎面胶中的分散情况。

表5 炭黑和白炭黑的物理参数

补强剂品种	粒径/nm	吸附比表面积 $\times 10^{-3}/(\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1})$
炭黑N151	11~19	118~138
炭黑N231	20~25	110~128
炭黑N330	26~30	105~117
炭黑N660	49~60	29~45
白炭黑	30~35	92~104

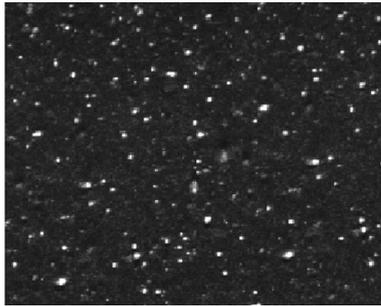


图1 炭黑N151在胎面胶中的分散情况

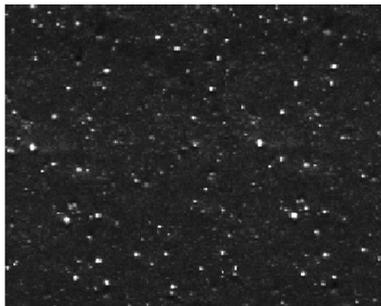
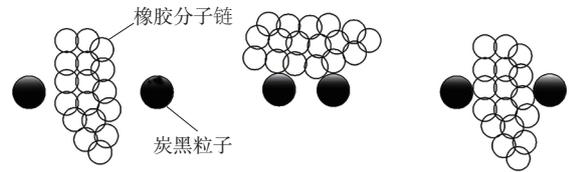


图2 白炭黑在胎面胶中的分散情况

从图1和2可以看出,炭黑N151用量为40份时在橡胶中的分散度较高,补强效果较为理想;白炭黑用量为20份时在橡胶中的分散度较高,橡胶分子链与白炭黑颗粒充分吸附,补强效果较为理想。

炭黑补强胎面胶机理应用分子链滑动理论来解释,炭黑颗粒与橡胶分子链的吸附模型如图3所示。炭黑颗粒与橡胶分子进行混合时,由于炭黑颗粒表面具有一定的吸附化学能,长短不等的橡胶分子链吸附在炭黑表面上,橡胶分子链具有一定的活动能力;当载荷作用时,整个橡胶分子会连接成链条状吸附在炭黑颗粒的表面并慢慢蠕动。当炭黑含量较低时,应力主要靠橡胶分子链承受,随着应力的增大,橡胶分子链会继续在炭黑颗粒表面滑动,并形成一定的滑动取向,导致应力重新平衡分布,所承担的应力增大。当炭黑颗粒达到一定的含量时,其与橡胶分子链的吸附力不断增



(a)炭黑颗粒间隙较大 (b)炭黑颗粒间隙较小 (c)炭黑颗粒间隙适中

图3 炭黑粒子与橡胶分子链吸附模型

大,当吸附力与橡胶分子链滑动力达到平衡时,会使炭黑颗粒间的橡胶分子链长度重新分布,并且通过橡胶分子的热运动与炭黑颗粒之间形成了一个新的吸附平衡。炭黑含量需要有一个最佳值,炭黑含量过低,会导致炭黑颗粒间空隙大,橡胶分子链不能紧密融合;炭黑含量过高,会导致炭黑颗粒间空隙小,同样橡胶分子链不能有效融合。炭黑颗粒与橡胶分子链之间需保持一个合适的吸附比表面积,橡胶分子链与炭黑颗粒之间的有效融合吸附阻止了橡胶分子链发生形变和拉伸,从而对橡胶起到补强作用。

3 结论

(1)单一品种炭黑补强胎面胶时,炭黑N151用量为40份时补强效果较佳;炭黑N330与其他品种炭黑并用补强胎面胶时,炭黑N330用量为40份、其他品种炭黑用量为20份时补强效果较佳;炭黑N330与白炭黑并用补强胎面胶时,炭黑N330用量为40份、白炭黑用量为20份时补强效果较为理想,胎面胶的耐磨性能和抗崩花掉块性能均提高。

(2)炭黑补强胎面胶机理可应用分子链滑动理论解释,胎面胶中炭黑含量有最佳值,炭黑含量过低,橡胶分子链不能紧密融合,补强效果不佳;炭黑含量过高,会导致炭黑颗粒间空隙小,橡胶分子链也不能有效融合,补强效果不理想;橡胶分子链与炭黑颗粒之间的有效融合吸附阻止了橡胶分子链发生形变和拉伸,从而对橡胶起到补强作用。

参考文献:

- [1] 钟俊雄. 翻新轮胎产品质量监测的必要性分析[J]. 中国新技术新产品, 2016(11): 161.
- [2] 朱俊. 基于系统论的废旧轮胎资源化模型研究[J]. 上海: 东华大学, 2012.
- [3] European Rubber Journal Group. Bridgestone Opens Tire Retreaded Plant in Osaka[J]. European Rubber Journal, 2013, 195(5): 65-

- 74.
- [4] Rubber World Group. Retreaded Tire Market Increased 35 Percent[J]. Rubber World: The Technical Service Magazine for The Rubber Industry, 2013, 247(5): 136-149.
- [5] Indian/International Rubber Journal Group. Michelin Debuts Off-Road XDY-EX Pre-mold Retreaded Tire [J]. Indian/International Rubber Journal, 2013(158): 345-358.
- [6] 那洪东. 翻新轮胎用胶料[J]. 世界橡胶工业, 2014, 44(1): 23-27.
- [7] 柳东海, 郑威, 姜健, 等. 白炭黑/天然橡胶复合材料在疲劳过程中的微观结构与性能演变[J]. 橡胶工业, 2017, 64(8): 453-457.
- [8] 张建, 王国林, 秦文龙, 等. 橡胶材料参数对轮胎硫化特性的影响[J]. 橡胶工业, 2017, 64(1): 9-13.
- [9] 张佳佳, 熊昕, 何俊宽, 等. 硅烷偶联剂改性炭黑-白炭黑双相粒子对天然橡胶物理机械性能的影响[J]. 合成橡胶工业, 2016, 39(1): 44-48.

收稿日期: 2017-09-15

Study on Reinforcement Agent for Off-The-Road Retreaded Tire

WANG Qiang, QI Xiaojie, WANG Yunlong, JIANG Li

(Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

Abstract: The carbon black and silica were added as reinforcement agents in tread formula of 26.5R25 off-the-road retreaded tire, and the reinforcing effect on tread compound was investigated. The results showed that, when carbon black was used as single reinforcer, the reinforcing effect of 40 phr carbon black N151 was better. When carbon black N330 blended with other carbon black, the reinforcing effect was better at 40/20 blending ratio of carbon black N330/other carbon black. When carbon black N330 blended with silica, the reinforcing effect was better at 40/20 blending ratio of carbon black N330/silica, and wear resistance and chipping-chunking resistance of retread were improved. The mechanism of carbon black reinforcing tread compound could be explained by molecular chain sliding theory, in which the carbon black content in tread compound had the best value, the effective fusion and adsorption between rubber molecular chain and carbon black particles prevented the deformation and stretching of the rubber molecular chain, consequently it could reinforce tread compound.

Key words: off-the-road retreaded tire; tread compound; carbon black; silica; reinforcement