

# 纳米粘土在轮胎胎圈胶中的应用

吉雷波, 华 振, 孙 华

(枣庄市三兴高新材料有限公司, 山东 枣庄 277319)

**摘要:** 研究纳米粘土在轮胎胎圈胶中的应用。结果表明: 在胎圈胶中以6份纳米粘土替代3份炭黑N375, 对胶料的加工性能和硫化特性影响不大, 硫化胶的密度和拉伸强度略有增大, 拉断伸长率和撕裂强度明显增大; 成品轮胎的耐久性提高, 且可降低胶料成本。

**关键词:** 胎圈胶; 纳米粘土; 轮胎; 成本

**中图分类号:** TQ330.38<sup>+</sup>3; TQ336.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-8171(2024)11-0683-03

**DOI:** 10.12135/j.issn.1006-8171.2024.11.0683



OSID 开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

轮胎的胎圈胶与轮辋直接接触, 传递来自轮辋与胎体的应力, 起到保护胎圈的作用。在配方设计上对胎圈胶的性能有较高的要求, 补强剂一般以炭黑N375为主, 炭黑用量较大。

纳米粘土是一种以天然含硅矿物材料为基础的化学法合成的具有纳米级粒径的水合硅酸铝粘土, 其表面经过了特殊改性, 具有良好的补强性能, 其补强作用接近白炭黑和炭黑。与白炭黑硅烷补强体系相比, 纳米粘土用于轮胎配方中不需要额外加入硅烷偶联剂, 可以直接混炼, 且具有低门尼粘度、低模量、低硬度和高强度等特点, 不影响胶料的基本物理性能<sup>[1-5]</sup>。

目前, 炭黑的价格在1万元·t<sup>-1</sup>左右, 而纳米粘土因原材料来源广泛, 成本较低且价格稳定, 基本在5 000元·t<sup>-1</sup>以下。在轮胎配方中以纳米粘土替代炭黑或白炭黑, 可为企业降低生产成本。本工作主要研究纳米粘土在胎圈胶中的应用。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

天然橡胶(NR), STR20, 泰国产品; 顺丁橡胶(BR), 牌号9000, 中国石油独山子石化公司产品; 乳聚丁苯橡胶(ESBR), 牌号1502, 中国石化齐鲁

**作者简介:** 吉雷波(1980—), 男, 山西沁水县人, 枣庄市三兴高新材料有限公司高级工程师, 硕士, 主要从事纳米材料、复合材料的制备及应用研究工作。

**E-mail:** jlbjly@163.com

橡胶厂产品; 纳米粘土Superfill 515(简称SF515), 枣庄市三兴高新材料有限公司产品; 炭黑N375, 普通市售品; 环保油, 牌号V700, 宁波汉圣化工有限公司产品。

### 1.2 配方

胎圈胶配方如表1所示。

表1 胎圈胶配方

组 分	试验配方			生产配方
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	
NR	70	70	75	60
BR	20	20	15	30
ESBR	10	10	10	10
炭黑N375	59	63	62	65
纳米粘土	6	6	6	0

注: 其余组分及用量为环保油 13, 氧化锌/硬脂酸/防老剂4020/防老剂RD/混合蜡 10, 硫磺/促进剂TBBS/防焦剂CTP 4.1。

### 1.3 主要设备和仪器

X(S)M-1.5型密炼机、XK-160型开炼机和XLB-400-400型四立柱平板硫化机, 青岛科高橡塑机械技术装备有限公司产品; F270型和F370型密炼机, 大连橡胶塑料机械股份有限公司产品; MV3000型门尼粘度仪, 德国Montech公司产品; Z3130型硬度计和Z010型拉力试验机, 德国Zwick公司产品; RPA2000橡胶加工分析(RPA)仪, 美国阿尔法科技有限公司产品。

### 1.4 混炼工艺

小配合试验胶料采用两段混炼工艺。一段混

炼在X(S)M-1.5型密炼机中进行,加料顺序为:生胶→硬脂酸等小料→炭黑、纳米粘土→排胶,停放4 h。二段混炼在XK-160型开炼机上进行,加料顺序为:一段混炼胶→硫黄、促进剂、防焦剂等→下片。

大配合试验胶料采用两段混炼工艺。一段混炼在F370型密炼机中进行,加料顺序为:生胶→硬脂酸等小料→炭黑、纳米粘土→排胶。二段混炼在F270型密炼机中进行,加料顺序为:一段混炼胶→硫黄、促进剂、防焦剂等→排胶。

### 1.5 性能测试

各项性能均按照相应的国家标准或企业标准进行测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 理化分析

纳米粘土的理化分析结果如表2所示。

表2 纳米粘土的理化分析结果

项 目	实测值	企业标准
密度/(Mg·m <sup>-3</sup> )	2.54	2.5~2.6
外观	粉状颗粒	粉状颗粒
pH值(质量分数为10%)	9.8	9~11
BET比表面积/(m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	43	≥25
加热减量(105℃×2h)/%	21	32
聚集体粒度分布(≤1μm含量)/%	95	≥80
45μm筛余物质量分数/%	0	≤0.02

从表2可以看出,纳米粘土的各项理化性能均达到企业标准要求。

### 2.2 小配合试验

#### 2.2.1 硫化特性

小配合试验胶料的硫化特性如表3所示。

从表3可以看出,与生产配方胶料相比,3<sup>#</sup>试验配方胶料的门尼粘度、*t*<sub>5</sub>和硫化仪数据均相近。对比各配方胶料可知,炭黑N375对胶料门尼粘度的影响较大,为保持胶料的工艺性能,纳米粘土与炭黑N375可按照2:1的比例进行替代。

#### 2.2.2 物理性能

小配合试验硫化胶的物理性能如表4所示。

从表4可以看出:与生产配方硫化胶相比,试验配方硫化胶的密度增大,硬度相近,撕裂强度提

表3 小配合试验胶料的硫化特性

项 目	试验配方			生产配方
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	74	89	83	81
门尼焦烧时间 <i>t</i> <sub>5</sub> (127℃)/min	11.2	11.8	15.6	16.6
硫化仪数据(151℃)				
<i>F</i> <sub>L</sub> /(dN·m)	3.2	3.9	3.5	3.5
<i>F</i> <sub>max</sub> /(dN·m)	20.9	22.6	22.1	22.8
<i>t</i> <sub>10</sub> /min	4.1	4.3	5.3	5.5
<i>t</i> <sub>50</sub> /min	5.7	5.8	7.0	7.1
<i>t</i> <sub>90</sub> /min	9.4	9.4	11.3	11.4

表4 小配合试验硫化胶的物理性能

项 目	试验配方			生产配方
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	
密度/(Mg·m <sup>-3</sup> )	1.174	1.173	1.173	1.162
邵尔A型硬度/度	70	71	70	70
50%定伸应力/MPa	2.30	2.44	2.01	2.30
100%定伸应力/MPa	4.27	4.68	3.80	4.04
300%定伸应力/MPa	16.62	18.66	16.35	16.44
拉伸强度/MPa	20.39	22.44	20.9	20.20
拉断伸长率/%	380	361	407	370
拉断永久变形/%	16	16	16	14
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	54	53	77	46
炭黑分散等级	9	8	9	10

注:硫化条件为151℃×20 min。

高;其中2<sup>#</sup>试验配方硫化胶的定伸应力和拉伸强度最大,3<sup>#</sup>试验配方硫化胶的拉断伸长率和撕裂强度最大。

### 2.3 大配合试验

根据小配合试验结果,优选3<sup>#</sup>试验配方进行大配合试验,结果如表5和6所示。

从表5可以看出:与生产配方胶料相比,3<sup>#</sup>试验配方胶料的门尼粘度相同,*t*<sub>5</sub>稍短,硫化速度略快,但相差不大,其余性能相近。

从表6可以看出,与生产配方硫化胶相比,试验配方硫化胶的密度和拉伸强度略有增大,定伸

表5 大配合试验胶料的硫化特性

项 目	3 <sup>#</sup> 试验配方	生产配方
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	81	81
门尼焦烧时间 <i>t</i> <sub>5</sub> (127℃)/min	14.1	15.1
硫化仪数据(151℃)		
<i>F</i> <sub>L</sub> /(dN·m)	3.4	3.6
<i>F</i> <sub>max</sub> /(dN·m)	21.5	21.9
<i>t</i> <sub>10</sub> /min	4.5	5.1
<i>t</i> <sub>50</sub> /min	6.2	6.6
<i>t</i> <sub>90</sub> /min	10.6	10.8

表6 大配合试验硫化胶的物理性能

项 目	3 <sup>#</sup> 试验配方	生产配方
密度/(Mg·m <sup>-3</sup> )	1.175	1.158
邵尔A型硬度/度	69	69
50%定伸应力/MPa	2.18	2.04
100%定伸应力/MPa	3.97	3.92
200%定伸应力/MPa	10.47	10.53
300%定伸应力/MPa	17.15	17.16
拉伸强度/MPa	22.98	21.12
拉断伸长率/%	410	388
拉断永久变形/%	20	14
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	72	48
炭黑分散等级	7	8

注:同表4。

应力相近,拉断伸长率和撕裂强度明显提高。

## 2.4 成品性能

采用3<sup>#</sup>试验配方胶料生产225/55ZR17 101W轮胎,并进行高速和耐久性能试验,结果如表7所示。

从表7可以看出,与生产轮胎相比,试验轮胎的高速性能相同,耐久性能提高,试验结束时胎圈部位未损坏。

表7 成品轮胎的室内性能测试结果

项 目	试验轮胎	生产轮胎
高速性能		
累计行驶时间/h	1.33	1.33
累计行驶里程/km	324.5	324.5
通过速度/(km·h <sup>-1</sup> )	270	270
试验结束时轮胎状况	未损坏	未损坏
耐久性能		
累计行驶时间/h	44	42
累计行驶里程/km	5 313.9	5 073.3
试验结束时轮胎状况	未损坏	未损坏

## 2.5 成本分析

采用3<sup>#</sup>试验配方和生产配方胶料进行成本对比,结果如表8所示。

表8 胶料成本对比

项 目	3 <sup>#</sup> 试验配方	生产配方
质量成本/(元·kg <sup>-1</sup> )	9.57	9.79
体积成本/(元·dm <sup>-3</sup> )	11.01	11.11

从表8可以看出,与生产配方胶料相比,3<sup>#</sup>试验配方胶料的质量成本和体积成本均降低。对于年产1 000万条轮胎的企业,采用3<sup>#</sup>试验配方胶料,每月可节约成本约5.5万元。

## 3 结论

在轮胎胎圈胶中以6份纳米粘土替代3份炭黑N375,对胶料的加工性能和硫化特性影响不大,但硫化胶的拉断伸长率和撕裂强度明显提高,成品轮胎的耐久性能提高,胶料成本降低。

## 参考文献:

- [1] 吉雷波,张华涛,曹伟,等. 纳米粘土在半钢子午线轮胎胎侧胶中的应用[J]. 轮胎工业,2023,43(9):545-548.
- [2] 王春伟,郑素群,周军贤. 层状粘土纳米材料的特性、加工及应用综述[J]. 中国非金属矿工业导刊,2008,72(6):3-8.
- [3] 王仁平. 纳米粘土替代炭黑在丁苯橡胶中的应用[J]. 橡胶科技,2019,17(10):575-578.
- [4] 余志伟,葛金龙,周春为. 纳米粘土增韧环氧树脂的研究[J]. 塑料科技,2005(4):5-7,15.
- [5] 刘兵兵,梁玉蓉,任绒艇,等. 有机粘土/天然胶乳纳米复合材料的多轴循环拉伸诱导结晶行为研究[J]. 橡胶工业,2023,70(11):850-856.

收稿日期:2024-05-19

# Application of Nano-clay in Tire Bead Compound

JI Leibo, HUA Zhen, SUN Hua

(Zaozhuang Sanxing Advanced Materials Co., Ltd, Zaozhuang 277319, China)

**Abstract:** The application of nano-clay in tire bead compounds was studied. The results showed that replacing 3 phr carbon black N375 with 6 phr nano-clay in the bead compound had little effect on the processing properties and vulcanization characteristics of the compound. The density and tensile strength of the vulcanizate increased slightly, while the elongation at break and tear strength increased significantly. The durability of finished tires was improved and the cost of compounds could be reduced.

**Key words:** bead compound; nano-clay; tire; cost