

# 新型纳米碳材 SG6 在耐热输送带覆盖胶中的应用研究

公维颖<sup>1</sup>, 谢家振<sup>2</sup>, 邓涛\*

(1. 青岛科技大学高分子科学与工程学院, 山东 青岛 266042;

2. 南方石墨研究院(湖南)有限公司, 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 本课题研究了新型纳米碳材 SG6 在耐热输送带覆盖胶中的应用, 通过对配方中的 N660 炭黑进行逐量替代, 考察了 SG6 对胶料的硫化特性、物理机械性能、耐磨性能、动态力学性能、导热性能和导电性能的影响。结果表明, SG6 从 0 份逐渐替代到 24 份, 混炼胶的扭矩差值略微减小,  $t_{10}$  及  $t_{90}$  基本保持不变, 门尼黏度略有降低; 硫化胶硬度降低, 拉伸强度, 拉伸伸长率以及定伸应力有所改善; 同时可使耐热输送带覆盖胶动态生热有所降低, 导热系数增大, 表面电阻值明显降低, 有效改善输送带覆盖胶产品的质量。

**关键词:** 新型纳米碳材 SG6; 耐热输送带; 硫化特性; 物理机械性能

**中图分类号:** TQ330.381

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2024)01-0042-05

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2024.01.009

三元乙丙橡胶 (EPDM) 是乙烯、丙烯及再加有少量的非共轭二烯烃作为硫化点的三元无规共聚物。根据配用的第三单体的种类不同, 可以将 EPDM 分为三类<sup>[1]</sup>。如: 配用亚乙基降冰片烯 (ENB) 生产的 E 型 EPDM; 配用双环戊二烯 (DCPD) 生产的 D 型 EPDM; 配用 1,4-己二烯 (HD) 生产的 H 型 EPDM。目前, 我国生产的以亚乙基降冰片烯和双环戊二烯为第三单体的三元乙丙橡胶较为普遍。三元乙丙橡胶主链饱和, 不饱和在侧基上, 具有优异的耐热老化、耐热氧老化、耐臭氧老化性能, 但由于其特定的分子结构特点, 却存在着黏合性能差、不耐油、硫化速度慢等缺点<sup>[2]</sup>。

橡胶的补强填充剂按结构可分为: 一维填料, 包括碳纳米管, 埃洛石纳米管以及纤维素晶须等; 二维填料, 包括石墨烯, 氧化石墨烯以及有机改性蒙脱土等; 三维填料, 包括炭黑, 白炭黑以及炭黑—白炭黑双相填料等<sup>[3]</sup>。

新型纳米碳材 SG6 是依据化学热力学的原理, 通过材料自身的电效应、缺陷效应以及层间范德华力的特性, 在一定温度的水环境中, 通过对石墨进行晶体层的剥离, 切断材料的平面键合力。这种方式可使 SG6 以较低的功耗进行大量生产。SG6 的空间结构中, 每个碳原子的周边连结着另外三个碳原子, 排列方式

多呈蜂巢式的多个六边形。同时颗粒有纳米碳片多层堆叠而成, 是明显的二维片层状结构。

本文通过试验使用新型纳米碳材 SG6 以不同的比例逐量替换炭黑 N660, 作为补强材料应用于 EPDM 耐热输送带覆盖胶中, 考察 SG6 对胶料硫化特性、物理机械性能、耐磨性能、动态力学性能, 导热系数和表面电阻, 探究 SG6 在耐热输送带覆盖胶中替代 N660 炭黑的可行性。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

EPDM 4640, 美国杜邦; EPDM 2650; 德国朗盛; SG6, 南方石墨研究院; N660, 卡博特公司; 其他配合剂均为常用工业品。

### 1.2 实验仪器设备

开炼机, X(S)K-160, 上海双翼橡塑机械有限公司; 密炼机, XSM-1/20-80, 上海科创橡塑机械设备有限公司; 平板硫化机, LCM-3C2-G03-LM, 深圳佳鑫电子设备科技有限公司; GT-7017-M 型老

作者简介: 公维颖 (1999-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事橡胶共混与改性方面的研究。

\* 通讯联系人

收稿日期: 2022-08-31

化箱,台湾高铁有限公司;无转子硫化仪, M-3000A,台湾高铁有限公司;电子拉力机, JDL-2500N, 天发试验机械有限公司;硬度计,上海险峰电影机械厂;导热系数测试仪, DRL-III, 湘潭湘科有限公司;体积表面电阻率测定仪, ZST-121 型, 北京中航时代有限公司。

### 1.3 实验配方

N660 和 SG6 用量变化实验配方, 详见表 1。

表 1 N660 和 SG6 用量变化实验配方

编号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
N660 / 份	24	18	12	6	0
SG6 / 份	0	6	12	18	24

配方其他成分(份): EPDM 4640 50; EPDM 2650 50; N220 30; N330 20; 聚异丁烯 10; 石蜡油 2280 10; 氧化锌 5; 轻质氧化镁 3; 萘烯树脂 10; 硫化体系 4.8; 防老剂 4020 2; 防老剂 MB 1; 总计 220.8。

### 1.4 试样制备

按照试验配方, 用电子天平准确称量各物料。向密炼机中先投入塑炼过的 EPDM 生胶, 其次投入小料和增黏剂, 最后分 3 次加入炭黑 N660 或新型纳米碳材 SG6, 密炼 10 min。

将密炼机中取出的母炼胶, 将两种母炼胶按比例配合, 投入开炼机中补充加工。期间加入硫化体系, 左右割刀数次, 打 5 次三角包使其混合均匀, 打卷 3 次, 随后调大开炼机辊距, 下片。

用无转子硫化仪在 160 °C 下测试胶料的硫化特性, 使用平板硫化机按  $t_{90}$  进行硫化。

### 1.5 分析测试

硫化特性: 按 GB/T 16584—1996, 采用无转子硫化仪进行测试, 测试温度为 160 °C, 转动角度均为  $\pm 1^\circ$ ;

力学性能: 拉伸性能采用电子拉力试验机按照 GB/T 528—2008 进行测试, 拉伸速度为 500 mm/min, 测试温度为室温;

邵尔 A 硬度: 按照 GB/T 531.1—2008 进行测试;

门尼黏度: 按照 GB/T 1232—2008 进行测试;

动态力学性能: 采用高铁科技公司生产的 RPA 2000 型橡胶加工分析仪, 频率 1.7 Hz, 转动角度  $\pm 0.5^\circ$ ;

硫化胶导热性能: 按 GB/T 8722—2008 测试;

硫化胶表面电阻: 按 GB/T 40719—2021 测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硫化特性及门尼黏度

混炼胶的硫化性能及门尼黏度如表 2 所示。从表 2 的硫化数据可知, 随着配方中 N660 炭黑用量的减少, SG6 用量的增加, 混炼胶的最低扭矩  $M_L$  略微减小, 同时在 100 °C 下, 对混炼胶采用大转子测量其门尼黏度, 数值从 69.24 逐渐降低到 64.43, 变化规律与硫化特性数据中  $M_L$  的相对应, 表明 SG6 的加入可以改善胶料的流动性, 增加胶料的可塑度。混炼胶的最高扭矩  $M_H$  以及扭矩差值  $M_H - M_L$  也表现出略有降低的变化规律。

表 2 硫化特性及混炼胶门尼黏度

试样编号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
$M_H/(dN \cdot m)$	13.07	12.61	12.34	11.86	11.87
$M_L/(dN \cdot m)$	1.89	1.82	1.83	1.75	1.74
$M_H - M_L/(dN \cdot m)$	11.18	10.79	10.51	10.11	10.13
$t_{10}/\text{min:s}$	1:55	1:46	1:49	1:52	1:49
$t_{90}/\text{min:s}$	19:34	18:27	18:40	19:13	18:43
$M_{L1+4}^{100^\circ\text{C}}$	69.24	66.91	66.24	65.57	64.43

同时我们还可以观察到, 随着配方中 SG6 用量的增加, 焦烧时间  $t_{10}$  以及工艺硫化时间  $t_{90}$  在一定范围内波动, 但整体变化不大, 表明 SG6 的加入对于硫化不会产生较大的影响。

### 2.2 物理机械性能

考察了 SG6/N660 并用比对硫化胶物理机械性能的影响, 见表 3。

对数据分析可知, 随着配方中 SG6 用量的增加, 硫化胶硬度略有降低, 拉伸伸长率增大, 拉伸永久变形增大, 拉伸强度略有改善, 但当 SG6 用量增大到 24 份时, 硫化胶的拉伸强度下降明显。

表 3 SG6/N660 并用比对硫化胶物理机械性能的影响

试验编号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>
邵 A 硬度 /°	63	63	63	62	61
拉伸强度 /MPa	9.0	9.5	9.6	9.9	7.4
拉伸伸长率 /%	909	929	917	986	999
100% 定伸应力 /MPa	1.2	1.3	1.3	1.3	1.1
200% 定伸应力 /MPa	1.8	1.8	1.8	1.8	1.5
300% 定伸应力 /MPa	2.5	2.7	2.6	2.4	2.1
拉伸永久变形 /%	70	75	70	80	100

由于 SG6 是二维片层状结构的纳米碳材, 在混炼过程中橡胶分子链会进入 SG6 的片层状结构中, 形成稳定的橡胶—填料相互作用, 更有利于应力的传递。当对材料施加载荷的过程中, 填料和橡胶基体之间都发生着应力和应变的传递。聚合物—填料之间新的相互作用会因外加载荷破坏聚合物—填料之间原有的相互作用而发生演变。在外加载荷的作用下, SG6 发生

层间滑移,形成新的聚合物—填料之间的相互作用,改善材料的拉伸伸长率<sup>[4]</sup>。由于SG6二维的片层状结构,使得SG6表面积增大,这可使SG6与橡胶分子链发生更多的聚合物—填料相互作用,以此改善硫化胶的拉伸强度以及各级定伸应力,但当SG6的用量增加到24份时,片层结构的不易分散导致较多的SG6发生团聚,在硫化胶基体中充当应力集中区域,从而阻碍了应力传递并最终导致拉伸强度的明显下降。

### 2.3 硫化胶 DIN 磨耗性能

考察了SG6/N660并用比对硫化胶DIN磨耗性能的影响如图1所示。

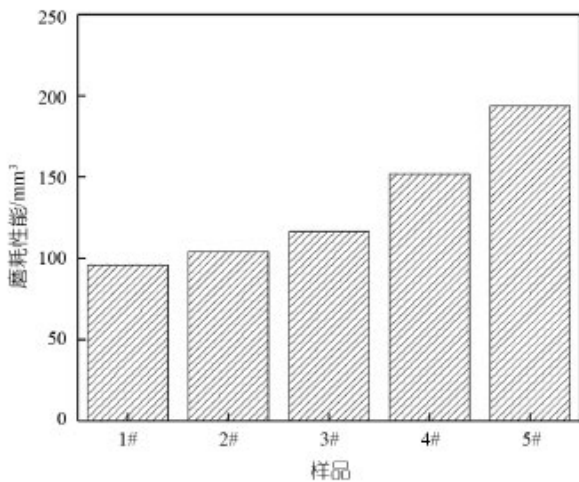


图1 SG6/N660并用比对硫化胶DIN磨耗性能的影响

由图1可知,由于随着配方中片层状结构、表面活性基团较少、结构度较低的SG6用量的增加,N660用量的减少,硫化胶的DIN磨耗体积有所增大,为平衡磨耗性能与力学性能,应进一步调整配方加以改善。

### 2.4 硫化胶动态力学性能

损耗因子(tanδ),它描述了材料在动态变形条件下的力学损耗行为,即黏弹性材料在交变力场作用下应力与应变周期相位差角的正切,也等于该材料的损耗模量与储能模量之比。同时tanδ也是衡量橡胶制品动态生热的重要指标,也是评价耐热输送带覆盖胶使用效果的重要参数之一。

对硫化胶进行动态力学性能测试,考察了SG6/N660并用比对硫化胶动态力学性能的影响如图2、3所示。

由图2可知,在60℃下以及在160℃下,随着配方中SG6用量的增加,N660用量的减少,硫化胶的储能模量降低,这表明尽管SG6由于较大的比表面

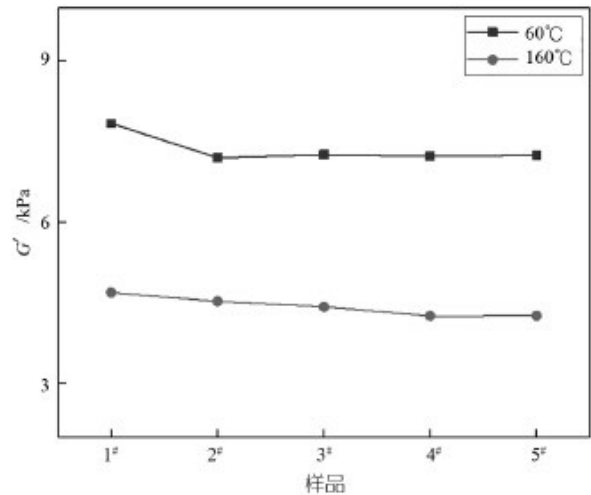


图2 SG6/N660并用比对硫化胶储能模量性能的影响

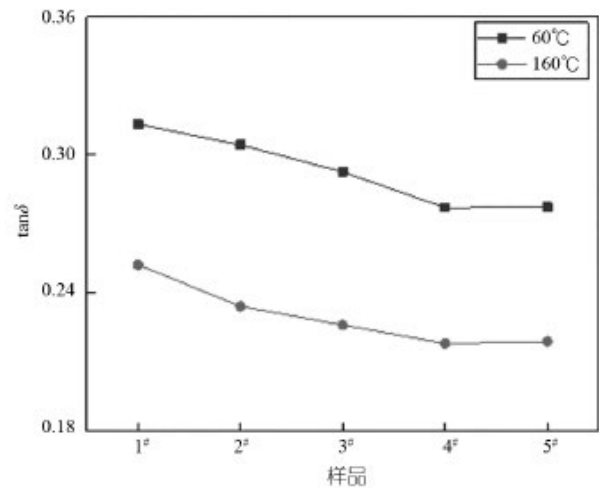


图3 SG6/N660并用比对硫化胶损耗因子性能的影响

积可以与橡胶分子链形成更多的聚合物—填料相互作用,但与N660相比,这种聚合物—填料的相互作用较小。同时我们可以观察到,在160℃下,硫化胶的储能模量明显低于相同配方在60℃下的储能模量。由图3可知,在60℃下以及在160℃下,随着SG6填充量增大,硫化胶的tanδ下降明显,这表明随着SG6填充量的增加可以改善材料在动态条件下使用时的生热问题,降低输送带制品在使用过程中的生热量。

### 2.5 硫化胶导热、导电性能

由于输送带在动态条件下使用,因自身的反复屈挠以及与输送物品之间的摩擦会产生大量的热。热量不能及时排出,会导致输送带自身温度过高,影响输送带的性能,同时也会加快产品的老化历程,影响产品的质量。同时由于与输送物品之间的摩擦,输送带覆盖胶表面会带有一定量的静电,对输送带的使用存

在一定的隐患。

由于 SG6 是纳米级的新型石墨材料, 并且其结构具有明显的二维多层片层结构, 易发生材料排列的“逾渗”效应, 故其具有较好的导热和导电特性。对硫化胶进行导热性能及表面电阻测试, 考察 SG6/N660 并用比对硫化胶导热及导电性能的影响, 如图 4、表 4 所示。

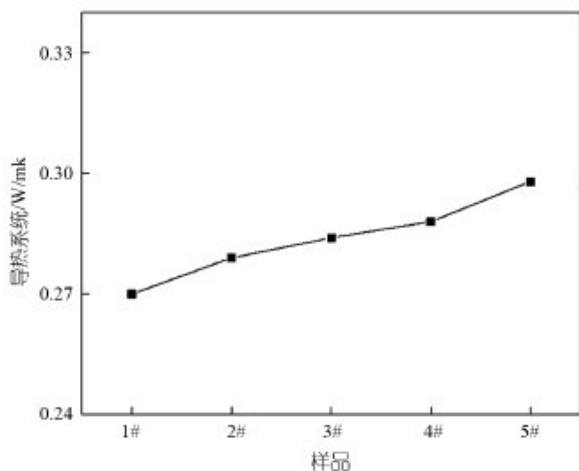


图 4 SG6/N660 并用比对硫化胶导热性能的影响

根据图 4 可知, 随着 SG6 用量的增加, 在 60 °C 下硫化胶的导热系数逐渐增大。结合图 3 中材料的动态生热降低的现象, 表明 SG6 的替代, 使得材料的热传导性能得到改善, 动态生热量降低, 降低材料在动态使用条件下的热积累, 延长了输送带制品的使用寿命。

表 4 SG6/N660 并用比对硫化胶导电性能的影响

试样编号	1#	2#	3#	4#	5#
表面电阻 /Ω	$7.1 \times 10^{10}$	$9.2 \times 10^9$	$5.1 \times 10^8$	$1.6 \times 10^8$	$5.3 \times 10^7$

如表 4 可知, 随着 SG6 用量的增加, 硫化胶的

表面电阻值逐渐降低, 其中全部使用 SG6 的 5# 试样, 其表面电阻值为  $5.3 \times 10^7 \Omega$ , 具有一定的导静电效果, 可有效改善耐热输送带在使用过程中吸附的灰尘、油污, 同时也可有效减少耐热输送带在使用过程中出现的放电或火花放电, 保障安全, 抑制橡胶的老化行为, 提高输送带制品的使用寿命。

### 3 结论

在耐热输送带覆盖胶制品中, 通过采用新型纳米碳材 SG6 对配方中 N660 炭黑进行逐量替代, 随着 SG6 替代量的增大。

(1) 混炼胶扭矩差值略有降低,  $t_{10}$  以及  $t_{90}$  基本保持不变, 门尼黏度略微减小。

(2) 硫化胶硬度降低, 拉伸强度, 拉断伸长率以及定伸应力有所改善, 但当 SG6 全替代时, 拉伸强度下降明显。

(3) 硫化胶耐磨性能下降, 但动态生热性能, 导热性能以及导电性能改善明显。

新型纳米碳材 SG6 在以 EPDM 为材料的耐热输送带覆盖胶的应用中具有广泛的前景。

#### 参考文献:

- [1] 刘登祥. 橡胶及橡胶制品 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 唐斌, 李晓强, 王进文. 乙丙橡胶应用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] Influence of melamine formaldehyde microsphere on the vulcanization kinetics and mechanical properties of nitrile butadiene rubber:[J]. Journal of Elastomers & Plastics, 2019, 51(2):143-156.
- [4] Ns A, Ks B, Bp A. Studies on the morphology and physico-mechanical properties of NBR/PVC hybrid nanocomposites- ScienceDirect[J]. Materials today: proceedings, 2020.

## Application research of new nano carbon material SG6 in heat-resistant conveyor belt covering rubber

Gong Weiyong<sup>1</sup>, Xie Jiazhen<sup>2</sup>, Deng Tao<sup>1\*</sup>

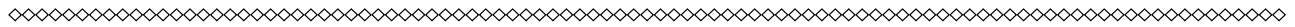
(1. Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266042, Shandong, China;  
2. Southern Graphite Research Institute (Hunan) Co. LTD., Changsha 410000, Hunan, China)

**Abstract:** This study investigates the application of a new type of nanocarbon material SG6 in heat-resistant conveyor belt covering rubber. The influence of SG6 on the vulcanization characteristics, physical and mechanical properties, wear resistance, dynamic mechanical properties, thermal conductivity, and conductivity of the rubber compound was studied by gradually replacing N660 carbon black in the formula.

The results showed that, as SG6 gradually increased from 0 parts to 24 parts, the torque difference of the mixed rubber slightly decreased, while  $t_{10}$  and  $t_{90}$  remained basically unchanged, and the Mooney viscosity slightly decreased; The hardness of vulcanized rubber is reduced, and the tensile strength, elongation at break, and tensile stress are improved; At the same time, the dynamic heat generation of the heat-resistant conveyor belt cover adhesive is reduced, the thermal conductivity coefficient increases, and the surface resistance value significantly decreases, effectively improving the quality of the conveyor belt cover adhesive product.

**Key words:** new type of nano carbon material SG6; heat resistant conveyor belt; sulfurization characteristics; physical and mechanical properties

(R-03)



## 德国马牌 NC6 轮胎 优越性能 无惧冰雪天

Continental's NC6 tire have superior performance and no afraid of ice and snow

冰天雪地的冬天,对于驾驶者而言又遇到困难期,阴晴不定的气候,会导致我们随时都面临着复杂、严峻的环境,驾驶的每一秒都需要提高警惕,将安全放在首位。僵硬、湿滑的路面上,一款优质的汽车轮胎更加重要,它让出行更加安全,也为用户带来更优质的驾驶体验。而当下的冬季轮胎市场上,德国马牌 NC6 轮胎备受关注。

### 冬季换胎,为啥都选择德国马牌 NC6 轮胎?

换轮胎选择一个靠谱的产品,才能全程无忧。德国马牌轮胎作为全球知名品牌,拥有超过 150 年的历史,从轮胎研发到生产,其推出的产品注重质量和可靠性,经得起任何严格的质量考验,在市场上拥有较高的口碑,选择这样的正规生产厂家,轮胎质量及售后服务更有保障,消费者可全面放心。

而德国马牌 NC6 轮胎是专门为冬季驾驶而设计的冬季轮胎,它采用“独特的壁虎抓地沟槽设计+先进的软胶配方”针对低温环境,对胎纹结构和橡胶配方进行了全面优化,具备更出色的抓地力和操控稳定性,保证了轮胎在寒冷天气下仍能拥有优异的性能,轻松应对冰雪路面的挑战。

### 以性能取胜,德国马牌 NC6 轮胎物超所值!

冬季驾驶,轮胎不光要防滑,还要省油。油如金的年代,省油要从面面抓起,德国马牌 NC6 在“节能”方面同样优秀。产品采用了先进的低滚动阻力配方,使胎面在接地后能迅速充分地回弹,减少滞后损失,显著降低轮胎滚动阻力以提升车辆的燃油经济性,有效解决了冬季胎轮胎耗油增加的难题。

同时,德国马牌 NC6 还具有降噪、耐用等多重性能。充分站在车主的角度,NC6 实现“安全、经济、品质、舒适”于一体,让您的冬季出行更省心、省力、省钱且安全,这也是为何它可以在市场上销量持续增长的原因所在。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)

