

碳纳米管SL-R07G在载重子午线轮胎中的应用

李红伟^{1,2}, 卢佳^{1,2}, 林向阳^{1,3}, 范汝良^{1,3}

[1. 中国石油和化学工业联合会橡胶功能材料测试技术工程实验室, 北京 100176; 2. 北京彤程创展科技有限公司, 北京 100176; 3. 彤程化学(中国)有限公司, 上海 200120]

摘要:研究碳纳米管SL-R07G在载重子午线轮胎中的应用。结果表明:与仅添加炭黑的胶料相比,在硬三角胶配方中添加碳纳米管SL-R07G,胶料的交联密度增大、定伸应力明显增大,有助于提高胶料的挺性,延长轮胎使用寿命;通过调整炭黑和碳纳米管SL-R07G的用量,可增大胶料的拉伸强度和拉伸伸长率;在胎圈耐磨胶配方中,4份碳纳米管SL-R07G与炭黑并用胶料的交联密度变化不大、硬度和定伸应力略增大、导热性能和耐磨性能明显提高;选择合适用量的碳纳米管SL-R07G与炭黑并用,可改善胎圈耐磨胶的生热。

关键词:碳纳米管;载重子午线轮胎;硬三角胶;胎圈耐磨胶;物理性能

中图分类号:TQ330.38⁺3;U463.341⁺.3/.6

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2023)11-0668-06

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2023.11.0668



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

随着轮胎行业的发展,细分市场对轮胎的性能要求越来越高。为了满足高载荷载重汽车对载重子午线轮胎的性能要求,在产品设计上对胎圈部位的胶料配方设计提出新挑战,包括对硬三角胶的硬度,对胎圈耐磨胶的硬度和生热要求等。这两种硬胶料配方一般采用高填充量的炭黑或者结合补强树脂来实现。但是炭黑填充量大会增大胶料的加工难度。

碳纳米管是一种结构特殊、导电和导热能力强、力学性能优异的新型补强材料,在橡胶等很多领域应用广泛^[1]。碳纳米管与炭黑并用时,碳纳米管的独特属性可填充填料间的缝隙和弥补缺陷,具有改善轮胎的抗切割和抗撕裂性能及提高导电和导热性能的潜力。

研究表明^[2],采用熔体机械混炼法制备的碳纳米管补强橡胶复合材料中,碳纳米管分散均匀且具有较大的长度,可形成有效的补强网络结构,所制备的橡胶复合材料的力学性能优异、导热性能好、体积电阻率低,将复合材料应用于轿车轮胎和高耐久性能工程机械轮胎,可降低轮胎的滚动阻

力,提高抗静电性能。

普通的碳纳米管与橡胶基体相容性差,不易分散,很难直接作为补强材料加至橡胶中,因此很多研究对其进行改性。王晗等^[3]采用丙烯酸法和偶联剂法对碳纳米管进行表面改性,改性后碳纳米管与炭黑并用补强丁腈橡胶,胶料的综合性能优异。通过生产工艺和产品设计对碳纳米管进行特殊处理,得到的橡胶专用碳纳米管SL-R07G(简称碳纳米管SL-R07G)具备表面活性高、长径比大和分散性好的特点。

通过对碳纳米管SL-R07G在胎面胶中的应用研究发现^[4],其可以大幅度提高胶料的硬度、定伸应力和耐磨性能,改善胶料的工艺性能和导热性能。

本工作研究碳纳米管SL-R07G在载重子午线轮胎中的应用,以期对硬三角胶和胎圈耐磨胶高硬度、良好加工性能及优异物理性能提供参考。

1 实验

1.1 主要原材料

天然橡胶(NR),SCR5[#],海南天然橡胶产业集团股份有限公司产品;顺丁橡胶(BR),牌号9000,中国石化集团北京燕山石油化工有限公司产品;碳纳米管SL-R07G、均匀剂SL-100和SL-400、补

作者简介:李红伟(1983—),男,山东济宁人,北京彤程创展科技有限公司高级工程师,学士,主要从事橡胶及轮胎用功能材料的研究和应用开发工作。

E-mail: hongwei.li@rachem.com

强树脂SL-2101、防护蜡SL-10140和SL-10255、增粘树脂SL-1801和SL-1401,华奇(中国)化工有限公司产品。

1.2 配方

硬三角胶和胎圈耐磨胶的配方分别见表1和2。

1.3 主要设备和仪器

BR1600型密炼机,美国法雷尔公司产品;

MDR2000型无转子硫化仪和MV2000型门尼粘度仪,美国阿尔法科技有限公司产品;Instron3365型电子拉力机,美国英斯特朗公司产品;TC3000型导热系数测量仪,西安夏溪电子科技有限公司产品;FT-1250型压缩生热试验机和B-1152型全自动兰伯恩试验机,日本上岛制作所产品;FEI Quattro S型场发射扫描电子显微镜(SEM),赛默飞世尔科技(中国)有限公司产品;Tecnai G2 F30型透射电子显微镜(TEM),美国FEI公司产品。

1.4 混炼工艺

采用3段混炼工艺,一段和二段混炼在密炼机中进行,三段混炼在开炼机上进行。

一段混炼工艺:加入生胶和2/3炭黑、氧化锌和硬脂酸,排胶温度为160℃;二段混炼工艺:加入一段混炼胶和剩余炭黑、防老剂和防护蜡等,排胶温度为155℃;三段混炼工艺:在开炼机上加入二段混炼胶、硫黄和促进剂,混炼均匀。

1.5 测试分析

(1) 门尼粘度和门尼焦烧时间。采用门尼粘度仪分别按照GB/T 1232.1—2016和GB/T 1233—2008进行测试。

(2) 硫化特性。采用无转子硫化仪按照GB/T 16584—1996进行测试。

(3) 拉伸性能。采用电子拉力机按照GB/T 528—2009进行测试。

(4) 压缩生热。按照ISO 4666-4—2007进行测试,测试条件为环境箱温度 55℃,预热时间 30 min,试验时间 25 min。

(5) 导热性能。采用导热系数测量仪进行测试,试样的厚度约为2 mm,直径为50 mm,测试温度为70℃。

(6) 耐磨性能。采用全自动兰伯恩试验机按照ISO-23337—2016进行测试,测试条件:温度 25℃,负荷 30 N,滑移率 20%,转速 80 m·min⁻¹,测试时间 1 min。

2 结果与讨论

2.1 理化性能

碳纳米管SL-R07G的理化性能见表3。

从表3可以看出,碳纳米管SL-R07G具有较小的平均管径、较大的比表面积。

表1 硬三角胶的配方 份

组 分	配方编号							
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
NR	100	100	100	100	100	100	100	100
炭黑N375	70	70	61	58	55	0	0	0
炭黑N330	0	0	0	0	0	84	84	72
碳纳米管SL-R07G	0	4	3	4	5	0	4	4
环保芳烃油P50	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	2	2	2
氧化锌	4	4	4	4	4	4.8	4.8	4.8
硬脂酸	2	2	2	2	2	3	3	3
均匀树脂SL-100	0	0	0	0	0	1	1	1
增粘树脂SL-1401	3	3	3	3	3	3	3	3
补强树脂SL-2101	10	10	10	10	10	0	0	0
防老剂6PPD	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5
防老剂RD	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0.3	0.3	0.3
防护蜡SL-10140	1	1	1	1	1	0	0	0
防焦剂CTP	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
硫黄HD-OT20	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	5	5	5
促进剂HMT	1	1	1	1	1	0	0	0
促进剂TBBS	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.7	1.7	1.7

表2 胎圈耐磨胶的配方 份

组 分	配方编号							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
NR	30	30	30	30	30	30	30	30
BR	70	70	70	70	70	70	70	70
炭黑N375	80	60	64	68	0	0	0	0
炭黑N330	0	0	0	0	75	59	63	67
碳纳米管SL-R07G	0	4	4	4	0	4	4	4
环保芳烃油P50	4	4	4	4	2.78	2.78	2.78	2.78
氧化锌	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
硬脂酸	2	2	2	2	2	2	2	2
均匀树脂SL-400	2	2	2	2	2	2	2	2
增粘树脂SL-1401	2	2	2	2	2	2	2	2
防老剂6PPD	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
防老剂RD	1	1	1	1	1	1	1	1
防护蜡SL-10255	1	1	1	1	1	1	1	1
防焦剂CTP	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3
硫黄HD-OT20	0	0	0	0	2.2	2.2	2.2	2.2
硫黄	1	1	1	1	0	0	0	0
促进剂TBBS	2.2	2.2	2.2	2.2	1	1	1	1

表3 碳纳米管SL-R07G的理化性能

项 目	实测值	测试方法
平均管径/nm	7~13	SEM/TEM
平均长度/ μm	40~65	SEM/TEM
松装密度/ $(\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$	0.10~0.15(颗粒)	ASTM D7481
比表面积/ $(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	230~280	ASTM D6556

2.2 加工性能

硬三角胶和胎圈耐磨胶的门尼粘度及焦烧特性分别如表4和5所示。

从表4可以看出:与Y1配方胶料相比,Y2配方胶料的门尼粘度明显增大,不利于胶料的加工成型;通过增大碳纳米管SL-R07G用量、减小炭黑N375用量,可减小胶料的门尼粘度。其中,Y5配方与Y1配方胶料的门尼粘度一致。

从表4还可以看出,与Y1和Y6配方胶料相比,碳纳米管SL-R07G与炭黑并用胶料的门尼焦烧时间缩短。这是因为随着炭黑的结构度提高、粒径减小、用量增大,促进焦烧的趋势越显著。这些因素使得结合胶网络结构密度提高,阻碍大分子链运动,因而会缩短胶料的焦烧时间^[5]。碳纳米管因具有较大的比表面积及较小的平均管径,对橡胶分子链运动阻碍明显。

从表5可以看出,与Z1和Z5配方胶料相比,4份碳纳米管SL-R07G与不同用量炭黑并用胶料的门尼粘度呈增大趋势。由于胎圈耐磨胶需要相对较高的门尼粘度,以提高半成品的挺性,防止流动,保护胎圈部位,因此Z4或Z8配方胶料门尼粘度较适宜。

2.3 硫化特性

硬三角胶和胎圈耐磨胶的硫化特性分别如表6和7所示。

从表6可以看出:与Y1配方胶料相比,Y2配方胶料的交联密度明显增大,说明炭黑与碳纳米管SL-R07G对胶料的补强效果明显;当减小炭黑用量、增大碳纳米管用量,胶料的交联密度增大,但胶料仍保持相同水平的硫化速度($t_{90}-t_{10}$)。

从表7可以看出,4份碳纳米管与不同用量炭黑并用,胶料的交联密度变化不大。

2.4 物理性能

2.4.1 硬度和强伸性能

硬三角胶和胎圈耐磨胶的硬度和强伸性能分别如表8和9所示。

从表8可以看出:与Y1和Y6配方胶料相比,

表4 硬三角胶的门尼粘度和焦烧特性

项 目	配方编号							
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
门尼粘度[MS(1+4)100℃]	54	74	60	58	54	60	79	67
门尼焦烧时间 t_5 (127℃)/min	17.48	13.68	16.82	17.19	16.16	11.16	8.46	10.96
门尼焦烧时间 t_{35} (127℃)/min	20.69	16.94	20.25	20.50	19.63	13.53	10.75	13.57

表5 胎圈耐磨胶的门尼粘度和焦烧特性

项 目	配方编号							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
门尼粘度[MS(1+4)100℃]	58	54	60	68	52	54	60	66
门尼焦烧时间 t_5 (127℃)/min	25.90	31.87	27.19	24.62	25.45	30.12	27.58	24.04
门尼焦烧时间 t_{35} (127℃)/min	28.38	34.64	29.68	26.75	29.74	33.33	30.60	27.10

表6 硬三角胶的硫化特性(151℃)

项 目	配方编号							
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
$F_L/(dN \cdot m)$	3.80	5.91	4.70	4.70	5.20	4.23	6.43	5.51
$F_{max}/(dN \cdot m)$	48.42	55.57	50.09	50.41	52.36	41.34	48.25	42.29
$F_{max}-F_L/(dN \cdot m)$	44.62	49.66	45.39	45.71	47.16	37.11	41.82	36.78
t_{10}/min	3.54	3.39	3.65	3.76	3.74	3.42	3.08	3.61
t_{50}/min	6.46	6.34	6.62	6.68	6.75	4.96	4.66	5.24
t_{90}/min	14.22	14.20	14.46	14.17	14.50	9.21	8.73	9.52
$t_{90}-t_{10}/\text{min}$	10.68	10.81	10.81	10.41	10.76	5.79	5.65	5.91

表7 胎圈耐磨胶的硫化特性(160 °C)

项 目	配方编号							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
$F_L / (\text{dN} \cdot \text{m})$	4.68	4.26	5.31	5.97	4.05	4.59	5.20	5.85
$F_{\max} / (\text{dN} \cdot \text{m})$	27.09	24.83	26.80	28.45	23.81	23.88	25.38	26.99
$F_{\max} - F_L / (\text{dN} \cdot \text{m})$	22.41	20.57	21.49	22.48	19.76	19.29	20.18	21.14
t_{10} / min	6.58	4.82	5.90	5.31	6.89	5.89	5.95	5.70
t_{50} / min	9.16	10.07	9.80	9.33	9.39	9.88	9.58	9.22
t_{90} / min	15.41	15.75	14.96	14.02	13.97	14.74	14.11	13.72
$t_{90} - t_{10} / \text{min}$	8.83	10.93	9.06	8.71	7.08	8.85	8.16	8.02

表8 硬三角胶的硬度及强伸性能

项 目	配方编号							
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
邵尔A型硬度/度	92	93	93	93	92	88	90	89
10%定伸应力/MPa	3.5	4.3	4.0	4.0	4.1	2.4	3.0	2.8
30%定伸应力/MPa	4.5	5.8	5.2	5.3	5.6	4.5	5.6	5.2
50%定伸应力/MPa	5.3	7.3	6.3	6.5	6.9	6.8	8.6	8.0
100%定伸应力/MPa	8.1	11.2	9.3	9.4	9.8	14.0	—	14.9
拉伸强度/MPa	18.8	18.4	21.1	20.4	20.4	17.8	16.1	19.0
拉断伸长率/%	285	205	309	291	290	133	98	138

注:硫化条件为151 °C × 30 min。

表9 胎圈耐磨胶的硬度及强伸性能

项 目	配方编号							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
邵尔A型硬度/度	79	79	80	82	76	77	77	79
10%定伸应力/MPa	1.4	1.5	1.7	1.7	1.2	1.3	1.3	1.5
30%定伸应力/MPa	2.1	2.3	2.6	2.7	1.9	2.1	2.1	2.5
50%定伸应力/MPa	2.7	3.1	3.5	3.7	2.4	2.8	2.9	3.4
100%定伸应力/MPa	4.7	5.3	6.1	6.4	4.4	4.8	5.1	6.1
拉伸强度/MPa	19.8	20.8	21.2	20.5	19.9	20.0	20.2	18.9
拉断伸长率/%	335	383	369	325	398	423	413	335

注:同表8。

Y2—Y5和Y7—Y8配方胶料的10%, 30%, 50%和100%定伸应力明显增大,表明在低应变下具有高的定伸应力,有助于提高胶料的挺性,减少胎圈的应力变形,延长轮胎的使用寿命;与Y1配方胶料相比,Y2配方胶料的拉断伸长率减小,这是因为碳纳米管具有较大的比表面积,与橡胶大分子可产生较多的交联点,吸附在碳纳米管之间的橡胶分子链短,在受到应力作用时,橡胶分子链滑动距离短,胶料的拉断伸长率减小^[6]。

从表8还可以看出,与Y2和Y7配方胶料相比,通过调整炭黑和碳纳米管SL-R07G用量,Y3—Y5和Y8配方胶料的拉伸强度和拉断伸长率增大。

从表9可以看出:在胎圈耐磨胶配方中,与Z1

和Z5配方胶料相比,Z2—Z4和Z6—Z8配方胶料的硬度以及10%, 30%, 50%和100%定伸应力略增大;拉伸强度和拉断伸长率整体呈增大趋势。这一方面归因于碳纳米管和炭黑具有协同补强作用,其机理如图1所示^[4],传统炭黑补强是橡胶中炭黑通过橡胶分子链连接形成“葡萄串”结构,加入碳纳米管后,通过橡胶分子链将其和周围炭黑连在一起,形成真正意义的“葡萄串”,其中碳纳米管相当于葡萄串的“梗”^[7],在受到外界应力作用时,碳纳米管和炭黑形成协同补强结构,可以承受更多载荷应力,达到整体补强作用;另一方面可能与炭黑用量减小、填料的分散性改善有关。

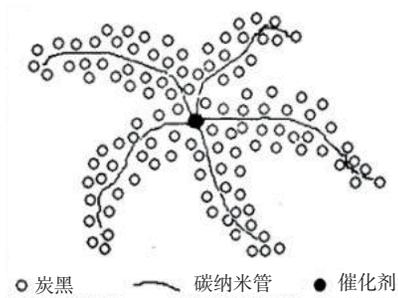


图1 碳纳米管和炭黑复合补强机理

2.4.2 压缩生热

压缩生热主要由橡胶复合材料在动态情况下填料之间、填料与橡胶分子链之间、橡胶分子链之间的相互作用引起^[8]。

压缩生热测试条件方案1:静负荷 100 N,动负荷 700 N,频率 10 Hz;方案2:静负荷 100 N,压缩时固定的变形量 3.0 mm,频率 10 Hz。胎圈耐磨胶在不同测试方案下的压缩生热分别如表10和11所示。

从表10和11可以看出:在4份碳纳米管SL-R07G与炭黑并用体系下,随着炭黑用量的增大,方案1条件下耐磨胶的中部温升减小,这与胶料的动态模量和抗压缩变形能力提高相关;方案2条件下胎

圈耐磨胶的中部温升呈增大趋势,这主要与炭黑与碳纳米管、炭黑与炭黑、炭黑与橡胶之间的相互作用增大相关。

从表10和11还可以看出,2种方案下,选择合适用量的碳纳米管SL-R07G与炭黑并用均能达到改善胎圈耐磨胶的生热问题,对于延长轮胎使用寿命具有积极意义。

2.4.3 导热性能

碳纳米管的导热是一维属性,大量热量会沿着长度方向进行传递,胶料的导热系数越高,导热性能越好。胎圈耐磨胶的导热性能如表12所示。

从表12可以看出:与Z1和Z5配方胶料相比,在4份碳纳米管SL-R07G与炭黑并用体系下,胶料的导热系数增大了9%~26%;同时随着炭黑用量的增大,胶料的导热性能提高。这可以降低热量在胎圈部位的积累,有利于提高轮胎使用安全性。

2.4.4 耐磨性能

胎圈耐磨胶的兰伯恩磨耗量如表13所示。

从表13可以看出:与Z1和Z5配方胶料相比,4份碳纳米管SL-R07G与炭黑并用体系下,胶料的耐磨性能提高(Z4配方除外);但随着炭黑用量的增大,胶料的耐磨性能下降。

表10 胎圈耐磨胶的生热性能(方案1)

项 目	配方编号							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
中部终温/℃	75.5	76.4	74.6	71.8	78.6	78.9	76.0	74.2
中部温升/℃	20.5	21.4	19.6	16.8	23.6	23.9	21.0	19.2
压缩永久变形/%	6.8	8.1	7.9	6.4	8.5	10.1	8.0	8.0

表11 胎圈耐磨胶的生热性能(方案2)

项 目	配方编号							
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8
中部终温/℃	115.1	106.6	109.8	116.8	106.2	101.9	104.7	108.7
中部温升/℃	60.1	51.6	54.8	61.8	51.2	46.9	49.2	53.7
压缩永久变形/%	10.6	11.2	11.5	10.8	11.5	12.5	11.6	11.7

表12 胎圈耐磨胶的导热系数 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$

配方编号	导热系数	配方编号	导热系数
Z1	0.331 7	Z5	0.333 9
Z2	0.361 4	Z6	0.391 5
Z3	0.384 8	Z7	0.409 6
Z4	0.406 0	Z8	0.419 2

表13 胎圈耐磨胶的兰伯恩磨耗量 cm^3

配方编号	兰伯恩磨耗量	配方编号	兰伯恩磨耗量
Z1	0.193	Z5	0.204
Z2	0.173	Z6	0.172
Z3	0.188	Z7	0.183
Z4	0.204	Z8	0.199

3 结论

(1) 在硬三角胶配方中,与仅加入炭黑的胶料相比,添加碳纳米管SL-R07G胶料的交联密度增大、定伸应力明显增大,即在低应变下具有高的定伸应力,有助于提高胶料的挺性,减小胎圈的应力变形,延长轮胎使用寿命;通过调整炭黑与碳纳米管SL-R07G用量,可增大胶料的拉伸强度和拉伸伸长率。

(2) 在胎圈耐磨胶配方中,与仅加入炭黑的胶料相比,4份碳纳米管SL-R07G与炭黑并用胶料的交联密度变化不大,硬度和定伸应力略增大;在固定负荷和动应变测试方案下,选择合适用量的碳纳米管与炭黑并用,可改善胎圈耐磨胶的生热;在4份碳纳米管与炭黑并用体系下,可提高胎圈耐磨胶的导热性能和耐磨性能。

综上所述,添加碳纳米管SL-R07G与炭黑并用后,可在保持胶料加工性能的前提下,提高硫化胶的物理性能,对延长轮胎使用寿命具有积极意义。

致谢: 本文由以下单位协助完成: 橡胶功能材料测

试技术工程实验室、北京彤程创展科技有限公司、彤程上海功能材料研发中心、山东永一橡胶有限公司,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 黄德超,黄德欢. 碳纳米管材料及应用[J]. 物理学进展,2004,24(3):274-288.
- [2] 李昭,卢咏来,宋洋,等. 碳纳米管补强橡胶复合材料及其在高性能轮胎中的应用[C]. “赛轮金宇杯”第19届中国轮胎技术研讨会论文集. 武夷山:中国化工学会橡胶专业委员会,2021:307-311.
- [3] 王晗,张永章,肖建斌. 表面改性碳纳米管的制备与性能研究[J]. 橡胶科技,2021,19(7):322-326.
- [4] 穆柄臻,陈海龙,何燕. 碳纳米管/橡胶复合材料的制备方法及其性能研究现状和进展[J]. 橡胶工业,2022,69(10):790-797.
- [5] 杨青芝. 实用橡胶工艺学[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [6] 范壮军,王垚,罗国华,等. 碳纳米管和炭黑在橡胶体系增强的协同效应[J]. 新型炭材料,2008,23(2):150-151.
- [7] WANG Y, WEI F, LUO G H. The large-scale production of carbon nanotubes in a nano-agglomerate fluidized-bed reactor[J]. Chemical Physics Letters,2002,364(5):568-572.
- [8] 王振华. 橡胶纳米增强机理及新型增强导热复合材料的制备、结构与性能研究[D]. 北京:北京化工大学,2010.

收稿日期:2023-07-13

Application of Carbon Nanotube SL-R07G in Truck and Bus Radial Tire

LI Hongwei^{1,2}, LU Jia^{1,2}, LIN Xiangyang^{1,3}, FAN Ruliang^{1,3}

[1. China Petroleum and Chemical Industry Federation (CPCIF) Engineering Laboratory for Testing Technology of Rubber Functional Materials, Beijing 100176, China; 2. Beijing Red Avenue Innova Co., Ltd, Beijing 100176, China; 3. Rachen (China) Co., Ltd, Shanghai 200120, China]

Abstract: The application of carbon nanotube (CNT) SL-R07G in truck and bus radial tire was studied. The results showed that, compared with the compound with carbon black only, the addition of CNT SL-R07G in the formulation of the hard apex increased the crosslinking density and the modulus of compound, which was helpful to improve the stiffness of compound and prolong tire service life. The tensile strength and elongation at break of the apex could be increased by adjusting the amount of carbon black and CNT SL-R07G. Compared with the bead wear resistant compound with carbon black only, the crosslinking density of the compound filled with 4 phr CNT SL-R07G and carbon black had little change, the hardness and modulus slightly increased and the thermal conductivity and wear resistance significantly were improved. Selecting the proper amount of CNT SL-R07G and carbon black in combination could reduce the heat build-up of the bead wear resistant compound.

Key words: CNT; truck and bus radial tire; hard apex; bead wear resistant compound; physical property