

低滚动阻力半钢子午线轮胎胎体配方开发

徐从升, 张建军, 任会明, 陈 生, 刘 玄

(中策橡胶集团有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要: 开发一种低滚动阻力半钢子午线轮胎胎体配方。结果表明: 采用大粒径、低结构度的炭黑N660替代炭黑N330, 采用低玻璃化温度锡偶联的溶聚丁苯橡胶替代乳聚丁苯橡胶, 同时调整橡胶操作油和硫黄用量后, 胶料的硫化特性变化不大、硬度和定伸应力相当、拉伸性能和粘合性能略差; 胶料60 ℃的损耗因子明显减小, 成品轮胎的高速和耐久性接近, 滚动阻力降低4.56%, 可节省汽车油耗。

关键词: 半钢子午线轮胎; 丁苯橡胶; 炭黑; 胎体; 物理性能; 滚动阻力

中图分类号: U463.341⁺.6

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2021)00-0000-05

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2021.00.0000



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

2012年欧盟轮胎标签法的实施促使轮胎制造商开发更低滚动阻力等级、的轮胎以参与市场竞争, 近几年的汽车电动化也促进了配套市场促进低滚动阻力轮胎的进一步发展。低滚动阻力轮胎在降低汽车油耗和电耗等减少用户用车成本的同时还可减少二氧化碳的排放, 具有显著的环境意义^[1-3]。

滚动阻力由轮胎变形、路面变形和轮胎与路面的摩擦3部分组成。车轮在硬路面上滚动时, 绝大部分滚动阻力会损失在轮胎的能量消耗中, 主要表现在橡胶、帘布等材料内的分子摩擦损失, 以及轮胎各组成件间(如内胎与外胎、轮胎与轮辋、橡胶与帘布层等)的机械摩擦损失上。

目前从配方方面降低轮胎滚动阻力的研究较多, 但以研究胎面和胎侧等在轮胎中质量占比较大的配方部件为主^[3-8], 而从胎体配方进行改善的研究较少。本工作的研究内容是在胎体配方中引用大粒径、低结构度、低比表面积 of 炭黑N660替代高耐磨炭黑N330, 用低玻璃化温度(T_g)的锡偶联溶聚丁苯橡胶(SSBR)代替传统乳聚丁苯橡胶(ESBR), 同时通过调整油、粘合剂和硫黄用量等开发出一种具有良好物理性能和加工性能的低滚动阻力半钢子午线轮胎胎体配方。

作者简介: 徐从升(1986—), 男, 浙江杭州人, 中策橡胶集团有限公司工程师, 硕士, 主要从事轿车子午线轮胎配方开发工作。

E-mail: 710599335@qq.com

1 实验

1.1 主要原材料

天然橡胶(NR), 越南进口产品; 非充油ESBR, 牌号1500, 中国石油吉林石化公司产品; 非充油锡偶联SSBR(T_g 为 -59 ℃, 苯乙烯质量分数为0.1, 乙烯基质量分数为0.4), 台橡股份有限公司产品; 炭黑N660, 上海卡博特化工有限公司产品; 环保型橡胶油V700, 宁波汉圣化工有限公司产品; 间苯二酚-甲醛缩合树脂SL3020, 彤程化工(张家港)有限公司产品; 不溶性硫黄IS7020, 山东尚舜化工有限公司产品。

1.2 配方

配方如表1所示。

1.3 主要设备和仪器

S(X)K-160型开炼机, 上海市拓林轻化机械厂产品; PHM-2.2型1.8 L密炼机, 璧宏机械工业股份有限公司产品; F370型密炼机, 大连橡胶塑料机械有限公司产品; M200E型门尼粘度仪, 北京友深电子仪器有限公司产品; GT-2000A型无转子硫化仪, 上海诺甲仪器仪表有限公司产品; VR-7120型动态热机械分析(DMA)仪, 日本UESHIMA公司产品。

1.4 试样制备

1.4.1 小配合试验

采用两段混炼工艺。一段混炼在1.8 L密炼机中进行, 填充因数为0.65, 混炼工艺为: 生胶→

表1 配方

份

组 分	生产 配方	试验配方					
		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
NR	82	82	82	82	100	82	82
ESBR1500	18	18	18	18	0	18	0
锡偶联SSBR	0	0	0	0	0	0	18
炭黑N326	0	52	52	45	45	0	0
炭黑N330	52	0	0	0	0	0	0
炭黑N660	0	0	0	0	0	52	52
橡胶油V700	9	7	7	4	4	5	4
树脂SL3020	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
粘合剂RA-65	2	3	3	3	3	3	3
不溶性硫黄							
IS7020	2.7	3.2	2.7	3.2	3.2	3.2	3.2
其他	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9

注:其他包括氧化锌、硬脂酸、防老剂RD、防老剂4020和促进剂TBBS。

塑炼15 s(转子转速为52 r·min⁻¹)→炭黑、操作油和小料→压压砣混炼50 s→提压砣清扫→压压砣混炼至125℃→提压砣保持5 s(转子转速调至45 r·min⁻¹)→压压砣混炼至155℃→排胶。在开炼机过辊2次后下片,停放8 h后进行二段混炼。

二段混炼在开炼机上进行,混炼工艺为:加入一段混炼胶薄通5次,加入硫黄、促进剂等,打三角包5次,再打卷5次后下片。停放16 h后,样品在平板硫化机上硫化,硫化条件为160℃×15 min。

1.4.2 大配合试验

采用两段混炼工艺。一段混炼在F370型密炼机中进行,转子转速为50 r·min⁻¹,混炼工艺为:加入生胶、炭黑和小料→压压砣混炼25 s→提压砣保持5 s→压压砣混炼至125℃→加操作油→压压砣混炼至155℃→排胶。在开炼机下片,停放8 h后进行二段混炼。

二段混炼在F370型密炼机中进行,转子转速为25 r·min⁻¹,混炼工艺为:加入一段混炼胶、硫黄

和促进剂→压压砣保持25 s→提压砣保持5 s→压压砣保持20 s→提压砣保持5 s→压压砣升温至103℃→排胶。

1.5 性能测试

DMA的测试条件为:温度范围 30~80℃,温升速率 2℃·min⁻¹,频率 10 Hz,静态应变 7%,动态应变 2%。

其他性能均按照相应的国家标准进行测试。

2 结果与讨论

2.1 小配合试验

2.1.1 硫化特性

小配合试验胶料的硫化特性如表2所示。

从表2可以看出,与生产配方胶料相比,试验配方胶料的门尼粘度略有升高、焦烧时间略有缩短, $F_{\max}$ 和 t_{90} 接近。

2.1.2 物理性能

小配合试验胶料的物理性能如表3所示。

从表3可以看出:与生产配方胶料相比,2[#]试验配方采用炭黑N326替代炭黑N330后,胶料300%定伸应力有所下降,不符合胎体帘布需要较高定伸应力提高轮胎操纵性能等要求;而1[#]试验配方在采用炭黑N326替代炭黑N330后,通过增大硫黄用量达到与生产配方相接近的水平;3[#]试验配方通过减小炭黑N326用量同时减小橡胶油用量,胶料应力也保持了与生产配方接近的水平;4[#]试验配方为全NR配方,除定伸应力略低外,其他综合物理性能最优;5[#]和6[#]试验配方采用N660炭黑后,通过调整硫黄、油和粘合剂用量后,胶料的定伸应力、H抽出力等关键性能与生产配方胶料相当,拉伸强度、拉伸伸长率和撕裂强度略有下降。

表2 小配合试验胶料的硫化特性

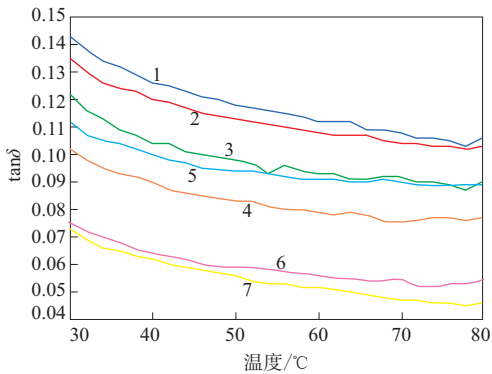
项 目	生产配方	试验配方编号					
		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
门尼粘度[ML(1+4) 100℃]	57	63	59	65	62	61	58
门尼焦烧时间 t_5 (120℃)/min	17.70	15.30	15.63	15.07	14.13	15.90	16.13
硫化仪数据(160℃)							
F_L /(dN·m)	1.51	2.21	2.32	2.13	2.00	2.20	1.36
$F_{\max}$ /(dN·m)	15.08	16.76	15.01	15.79	16.02	15.91	15.66
t_{10} /min	2.33	1.84	1.80	1.75	1.36	2.05	2.06
t_{50} /min	3.70	3.15	3.17	3.12	2.58	3.22	3.20
t_{90} /min	6.15	6.09	5.83	5.93	5.44	5.60	5.90

表3 小配合试验胶料的物理性能

项 目	生产配方	试验配方编号					
		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
密度/(Mg·m ⁻³)	1.127	1.131	1.127	1.115	1.114	1.134	1.132
邵尔A型硬度/度	66	66	64	64	65	63	62
100%定伸应力/MPa	2.56	2.70	2.20	2.72	2.55	2.85	2.60
300%定伸应力/MPa	10.65	10.43	9.15	10.20	9.78	11.71	11.68
拉伸强度/MPa	24.11	19.84	22.65	22.62	23.54	19.92	21.03
拉断伸长率/%	555	491	579	551	571	448	496
撕裂强度(新月形)/(kN·m ⁻¹)	79	75	91	76	88	48	51
H抽出力/N	209	212	214	227	215	219	208

2.1.3 动态力学性能

通常以DMA测试的损耗因子(tanδ)来表征硫化胶的动态性能,60℃下的tanδ越小,胶料摩擦生热越低,对轮胎滚动阻力下降越有利^[4-5]。小配合试验胶料的DMA测试结果如图1所示。



1—生产配方;试验配方编号:2—1[#];3—2[#];4—3[#];
5—4[#];6—5[#];7—6[#]。

图1 小配合试验胶料的DMA测试结果

从图1可以看出,5[#]和6[#]试验配方胶料的60℃下的tanδ均有较大程度的减小,这是由于2个试验配方都采用了炭黑N660。炭黑N660是大粒径、低结构度炭黑,在胶料中更易分散,硫化胶中炭黑粒子之间摩擦比炭黑N330小,因此生热低。另外,与生产配方胶料相比,6[#]试验配方采用锡偶联亲炭黑的SSBR,锡偶联减少了橡胶分子末端数量,也会减小胶料滞后损失,使生热进一步降低。

2.2 大配合试验

通过在小配合优选试验,5[#]和6[#]试验配方粘弹性表征最低,含锡偶联SSBR的6[#]试验配方的物理性能和动态力学性能更优,因此选取生产配方和6[#]试验配方进行大配合试验和成品轮胎性能验证。

2.2.1 硫化特性

大配合试验胶料的硫化特性如表4所示。

表4 大配合试验胶料的硫化特性

项 目	生产配方	6 [#] 试验配方
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	56	57
门尼焦烧时间 t_5 (120℃)/min	12.53	11.77
硫化仪数据(160℃)		
F_L /(dN·m)	15.47	16.90
F_{max} /(dN·m)	2.54	2.24
t_{10} /min	1.97	2.08
t_{50} /min	3.15	3.13
t_{90} /min	5.42	5.60

从表4可以看出,6[#]试验配方胶料的门尼粘度、门尼焦烧时间和流变特性与生产配方胶料相当。

2.2.2 物理性能

大配合试验胶料的物理性能如表5所示。

表5 大配合试验胶料的物理性能

项 目	生产配方	6 [#] 试验配方
邵尔A型硬度/度	64	63
100%定伸应力/MPa	2.50	2.97
300%定伸应力/MPa	11.94	12.17
拉伸强度/MPa	23.88	20.57
拉断伸长率/%	532	477
撕裂强度(新月形)/(kN·m ⁻¹)	82	67
100℃×48h老化后		
邵尔A型硬度/度	70	69
100%定伸应力/MPa	3.91	4.18
300%定伸应力/MPa	16.94	12.71
拉伸强度/MPa	17.02	14.81
拉断伸长率/%	321	301
撕裂强度(新月形)/(kN·m ⁻¹)	60	46

从表5可以看出,通过增大硫黄和粘合树脂用量,同时减小橡胶油V700的用量,6[#]试验配方胶料的硬度和300%定伸应力达到与生产配方胶料同等水平。但基于补强材料性质,炭黑N660等量替代

炭黑N330后,胶料的拉伸强度、拉断伸长率和撕裂强度都有一定程度下降。

2.2.3 粘合性能

为了完整评估试验配方胶料的粘合性能,分别进行了单根帘线H抽出、胎体压延后聚酯帘布剥离以及胎圈网孔布的粘合性能评估试验。根据经验,胎体帘布剥离后覆胶率基本在100%水平(如图2所示),故无法对试验配方和生产配方覆胶水平进行准确评估。而网孔布是由单丝组成,且经纬线直径一致,覆胶率一般不会达到100%,故可以通过放大剥离后网孔布上的覆胶情况评估胶料覆胶水平,结果如图3所示。

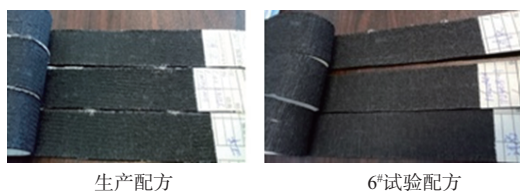
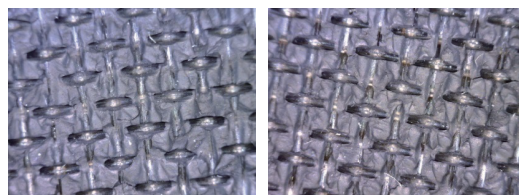
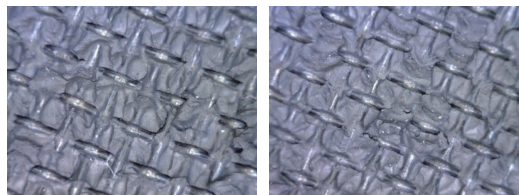


图2 帘布剥离后覆胶情况对比



(a) 生产配方



(b) 6#试验配方

图3 网孔布剥离覆胶情况对比(放大50倍)

从图3可以看出,6#试验配方胶料采用补强效果略弱的炭黑N660,但在配方中增大了粘合树脂和硫黄用量,因此试验配方胶料的剥离覆胶率没有受到影响。

大配合试验胶料的粘合性能如表6所示。

从表6可以看出,与生产配方胶料相比,6#试验胶料的帘线H抽出力和帘布剥离强度都略有下降但幅度不大。帘线H抽出力和帘布剥离强度均受胶料抗撕裂性能影响,抗撕裂性能越好,帘线H

表6 大配合试验胶料的粘合性能

项 目	生产配方	6#试验配方
帘线H抽出力/N		
老化前	210.10	204.34
100 °C × 48 h老化后	177.68	166.17
帘布剥离强度/(N · mm ⁻¹)	13.11	12.98

抽出力和帘布剥离强度越高。为降低滚动阻力,6#试验配方中采用炭黑N660替代炭黑N330,由于炭黑N660补强性能弱于炭黑N330,因此6#试验配方胶料撕裂强度略有下降,导致帘线H抽出力和帘布剥离强度略有下降,属于正常规律,但相对降幅不大,可以看做比较接近的水平。

2.2.4 动态力学性能

大配合试验胶料的DMA测试结果见图4。

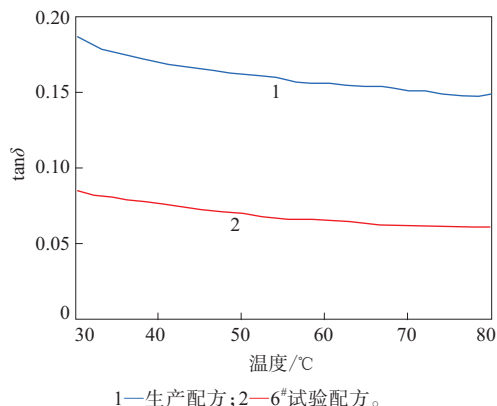


图4 大配合试验胶料的DMA测试结果

从图4可以看出,6#试验配方胶料60 °C的tanδ较生产配方减小约57%,这应该是大粒径、低结构度的炭黑N660降低了形变时粒子间摩擦,同时锡偶联SSBR可提高炭黑分散效果、减少分子末端数量、降低苯乙烯含量从而降低试验配方胶料内摩擦生热,进而总体大幅度降低胶料的tanδ。

2.3 成品性能

将生产配方和6#试验配方胶料作为胎体胶料,轮胎所用其他部件的材料都相同,用同一种工艺进行225/60R17规格轮胎制备,并进行成品轮胎室内高速和耐久性能以及滚动阻力测试,结果分别如表7和8所示。

从表7可以看出,采用生产配方和6#试验配方作为胎体胶料试制的成品轮胎耐久性能相当,试验配方轮胎高速性能略有提高。

从表8可以看出,采用6#试验配方作为胎体胶

表7 成品轮胎高速和耐久性能

项 目	生产配方		6#试验配方	
轮胎编号	1	2	3	4
高速性能测试				
行驶时间/min	92	92	105	94
试验结束时轮胎状况	冠部脱层	冠部脱层	冠部脱层	冠部脱层
耐久性能测试				
累计行驶时间/h	120	120	120	120
试验结束时轮胎状况	正常	正常	正常	正常

表8 成品轮胎滚动阻力测试结果

项 目	生产配方				6#试验配方	
轮胎编号	1	2	3	4	5	6
轮胎质量/kg	12.06	12.05	12.06	12.05	12.04	12.05
滚动阻力系数/ (N · kN ⁻¹)	8.96	9.00	8.99	8.69	8.55	8.48

料试制的成品轮胎滚动阻力平均值较生产配方制备的成品轮胎下降4.56%,说明通过对胎体帘布胶配方的优化,达到了降低轮胎滚动阻力的目的,当然低滚动阻力胎体胶对滚动阻力下降贡献的幅度还与轮胎结构有关,本工作没有进一步讨论。

3 结论

开发了低滚动阻力半钢子午线轮胎胎体配方,采用大粒径、低结构度的炭黑N660替代炭黑N330可减少填料摩擦,采用低 T_g 锡偶联SSBR替换

ESBR以减小分子末端滞后损失,并通过调整粘合增进剂、橡胶油和硫黄用量等措施保证胶料模量和粘合性能。结果表明,配方优化后硬度和定伸应力相当,拉伸性能和粘合性能略有下降,动态粘弹滞后损失明显减小,轮胎滚动阻力下降。

参考文献:

[1] 刘俊杰,陈亚婷,周磊,等. 轿车轮胎滚动阻力的研究[J]. 轮胎工业,2020,40(2):84-87.

[2] 王国林,陈晨,周海超,等. 胎面与胎体间接接触特性对轮胎滚动阻力影响的研究[J]. 橡胶工业,2020,67(6):403-409.

[3] 顾培霜,郑昆,陈松,等. 低滚动阻力抗湿滑轿车胎的开发[J]. 世界橡胶工业,2014,41(12):1-3.

[4] 梁守智,钟延堃,张丹秋. 橡胶工业手册(修订版) 第四分册 轮胎[M]. 北京:化学工业出版社,1989.

[5] 包崇美. 绿色轮胎滚动阻力性能分析及影响因素研究[D]. 长春:吉林大学,2020.

[6] 王国林,乔磊,周海超,等. PCR轮胎接地性态对噪声与滚动阻力影响研究[J]. 机械工程学报,2019,55(16):123-131.

[7] 孙连文. 大分子表面改性剂改性白炭黑对绿色轮胎胎面胶性能的影响研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2015.

[8] DING Y M, WANG H, QIAN J Y, et al. Evaluation of Tire Rolling Resistance from Tire-Deformable Pavement Interaction Modeling[J]. Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, 2021, 147(3):295.

收稿日期:2021-05-12

Development of Carcass Fomulation of Low Rolling Resistance Steel-belted Radial Tire

XU Congsheng, ZHANG Jianjun, REN Huiming, CHEN Sheng, LIU Xuan
(Zhongce Rubber Group Co., Ltd, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A carcass formulation of low rolling resistance steel-belted radial tire was developed. The results showed that, when carbon black N660 with large particle size and low structure degree was used to replace carbon black N330, and solution polymerized styrene butadiene rubber with low glass transition temperature tin coupling was used to replace emulsion polymerized styrene butadiene rubber, the curing characteristic of the compound changed little, the hardness and modulus were equivalent, and the tensile properties and adhesion properties were slightly poor after adjusting the amount of rubber operating oil and sulfur. The loss factor of compound at 60 °C was reduced obviously. The high speed performance and durability of finished tire were close, and the rolling resistance was reduced by 4.56%, which could save the automobile fuel.

Key words: steel-belted radial tire; styrene butadiene rubber; carbon black; carcass; physical property; rolling resistance