

# 非公路赛地赛车轮胎胎面胶配方的研发

韦春利, 徐学强, 蒋化学

(四川海大橡胶集团有限公司, 四川 简阳 641402)

**摘要:**介绍适用于非公路赛地赛车轮胎胎面胶配方的研发。轮胎胎面胶配方使用合理的生胶体系(天然橡胶/顺丁橡胶/溶聚丁苯橡胶并用)和补强体系(大量白炭黑与少量炭黑并用),并填充大量环保芳烃油。选择硬度较低、耐热老化性能和抗湿滑性能较好、滚动阻力较低的试验胶料进行轮胎生产,与竞品轮胎相比,试验轮胎具有较好的高速性能、操控性和抓着性能,同时可节油5%以上。

**关键词:**非公路赛地赛车轮胎;胎面胶;物理性能;动态性能

**中图分类号:**U463.341

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-8171(2023)11-0683-04

**DOI:**10.12135/j.issn.1006-8171.2023.11.0683



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

为了拓展产品市场范围,我公司针对东南亚等热带、亚热带市场进行了非公路赛地赛车轮胎开发,用于障碍越野和竞技比赛。根据市场调查,客户对该类产品要求较高,其不同于普通的竞技轮胎和越野轮胎,具体要求为:(1)耐热老化性能优异,可适应热带、亚热带气候环境;(2)胎面花纹块较大,胎面胶硬度较低,邵尔A型硬度控制在50度左右,在草泥地路面、碎石路面和崎岖山路均具有优良的包覆性,不易空转打滑;(3)具有优良的制动安全性和较低的滚动阻力,满足环境友好的要求。

为满足上述要求,在轮胎轮廓设计、花纹块研究和胶料配方等方面做了一系列研究。本工作进行了胎面胶配方的研发。

## 1 实验

### 1.1 原材料

天然橡胶(NR),STR20,印度尼西亚产品;顺丁橡胶(BR),牌号9000,中国石油大庆石油化工总厂产品;充油溶聚丁苯橡胶(SSBR),牌号2564S,苯乙烯质量分数为0.25,乙烯基质量分数为0.64,充37.5份环烷油,中国石油独山子石化

有限公司产品;充油乳聚丁苯橡胶(ESBR),牌号1723,充37.5份环保芳烃油(TDAE),中华化学工业有限公司产品;高分散性白炭黑,牌号165MP,确成硅化学股份有限公司产品;炭黑N234和N220,山西三强新能源科技有限公司产品;硅烷偶联剂Si69C,湖北江瀚新材料股份有限公司产品;其余材料均为市售产品。

### 1.2 配方

试验配方如表1所示。

表1 试验配方

组 分	配方编号			
	A	B	C	D
NR	30	30	30	20
BR	20	30	10	15
SSBR	68.8	0	0	89.4
ESBR	0	55	82.5	0
炭黑N220	15	20	0	0
炭黑N234	0	0	15	10
白炭黑	50	45	50	55
硅烷偶联剂	8	7.2	8	8.8
TDAE	15	18	13	13

注:配方其余组分和用量为氧化锌/硬脂酸 8,防老剂4020/防老剂TMQ/防护蜡 7.5,活性剂PEG4000/白炭黑分散剂 4,硫黄/促进剂 3.2,其他 13。

### 1.3 主要设备和仪器

1.5 L实验密炼机,青岛亿朗橡胶装备有限公司产品;GK400N和GK255N型密炼机,益阳橡胶塑料机械集团有限公司产品;XK-160型开炼机,

**作者简介:**韦春利(1984—),女,壮族,广西河池人,四川海大橡胶集团有限公司工程师,硕士,主要从事轮胎配方设计及工艺管理工作。

**E-mail:**chunli20001@163.com

广东湛江机械厂产品;0.5MN型平板硫化机,湖州宏侨橡胶机械有限公司产品;MV2000型门尼粘度仪和MDR2000型无转子硫化仪,美国阿尔法科技有限公司产品;UT-2060型电子拉力试验机 and DIN磨耗试验机,中国台湾优肯科技股份有限公司产品;Y401A型热老化试验箱,江苏天源试验设备有限公司产品;EPLEXOR动态粘弹谱分析仪,德国GABO公司产品;轮胎耐久性试验机和高速里程试验机,天津车轮实验中心产品。

## 1.4 混炼工艺

### 1.4.1 小配合试验

小配合试验采用2段混炼工艺。一段混炼在1.5 L实验密炼机中进行,初始温度为60 °C,转子转速为80 r·min<sup>-1</sup>。混炼工艺为:加入生胶和除硫黄、促进剂以外的助剂→压压砣(30 s)→炭黑和白炭黑→压压砣(120 °C)→TDAE→压压砣(150 °C)→提压砣、清扫→转子转速降为25 r·min<sup>-1</sup>,恒温(150 s)→排胶。

一段混炼胶停放8 h后在1.5 L实验密炼机中进行二段混炼,初始温度为50 °C,转子转速为25 r·min<sup>-1</sup>。混炼工艺为:加入一段混炼胶、促进剂和硫黄→压压砣(40 s)→提压砣→压压砣(30 s)→提压砣→压压砣(30 s)→排胶。胶料在XK-160型密炼机上出片,制成厚度为2 mm的胶片,停放至少8 h备用。

### 1.4.2 大配合试验

大配合试验采用剪切型转子/恒温混炼工艺,分为两段混炼。一段混炼在GK400N型密炼机中进行,转子转速为50 r·min<sup>-1</sup>。混炼工艺为:加入生胶和除硫黄、促进剂以外的助剂→压压砣(30 s)→炭黑和白炭黑→压压砣(110 °C)→TDAE→压压砣(145 °C)→提压砣(转子转速降为20 r·min<sup>-1</sup>)→压压砣(50 s)→提压砣→压压砣(50 s)→提压砣→压压砣(50 s)→排胶[(153±5) °C]。

一段混炼胶停放8 h后在GK255N型密炼机中进行二段混炼,转子转速为20 r·min<sup>-1</sup>。混炼工艺为:一段混炼胶、硫黄和促进剂→压压砣(30 s)→提压砣,保持10 s→压压砣(30 s)→提压砣→压压砣(30 s)→排胶[(100±5) °C]。胶料在常温环境下存放。

## 1.5 性能测试

(1) 硫化特性。采用MV2000型门尼粘度仪和MDR2000型无转子硫化仪测试,测试温度分别为127和145 °C。

(2) 物理性能。胶料的各项物理性能均按相应的国家标准进行测试,硫化条件为145 °C×(t<sub>90</sub>+10 min)。

(3) 动态性能。采用EPLEXOR动态粘弹谱分析仪测试,测试条件为:静态应变 3%,动态应变 0.3%,频率 10 Hz,温度范围 -60~70 °C,升温速率 3 °C·min<sup>-1</sup>。

(4) 成品轮胎室内性能。高速性能按照GB/T 4501—2016进行测试;滚动阻力按照ISO 28580:2018进行测试;纵向刚性按照GB/T 23663—2009(85%标准负荷)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。

表2 小配合试验胶料的硫化特性

项 目	配方编号			
	A	B	C	D
门尼粘度[ML(1+4)100 °C]	53	50	54	53
门尼焦烧时间t <sub>5</sub> (127 °C)/min	25.4	22.6	23.5	26.3
硫化仪数据(145 °C)				
F <sub>L</sub> /(dN·m)	1.8	1.6	2.0	1.9
F <sub>max</sub> /(dN·m)	14.3	13.8	14.1	14.5
t <sub>90</sub> /min	18.2	15.3	17.9	19.1

从表2可以看出,4个配方由于大量使用SSBR或ESBR和TDAE,胶料的门尼粘度较低,混炼过程中胶料剪切力较小,影响填料和橡胶助剂的分散,因此需要针对性地制定混炼工艺,以提高填料的分散性。由于生胶和填料,尤其是白炭黑用量的差异,相同硫化体系下4个配方胶料的硫化速度差异较大,由于SSBR中的苯乙烯含量较ESBR高,其空间位阻作用大<sup>[1-7]</sup>,因此配方A和D胶料的硫化速度慢于配方B和C胶料。

#### 2.1.2 物理性能

小配合试验硫化胶的物理性能如表3所示。

从表3可见:在配方中填充大量橡胶油,优化填料配比,可以降低胶料的硬度,其中配方D胶料

表3 小配合试验硫化胶的物理性能

项 目	配方编号			
	A	B	C	D
邵尔A型硬度/度	52	52	53	51
300%定伸应力/MPa	7.9	8.1	7.5	7.8
拉伸强度/MPa	17.3	18.8	17.9	17.6
拉断伸长率/%	598	615	642	621
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	55	60	58	56
DIN磨耗指数	139	121	105	123
100℃×48 h老化后				
邵尔A型硬度/度	58	59	56	53
300%定伸应力/MPa	10.3	10.8	9.9	9.5
拉伸强度/MPa	15.2	15.1	16.0	16.8
拉断伸长率/%	445	431	516	550
老化性能保持率 <sup>1)</sup> /%	65.4	56.3	71.8	84.5

注:1)老化性能保持率为老化后300%定伸应力×老化后拉伸强度/(300%定伸应力×拉伸强度)×100%。

的硬度基本满足设计要求;老化前配方A、C和D胶料的300%定伸应力和拉伸强度差异不大,配方B胶料由于炭黑N220含量较大,因此其300%定伸应力和拉伸强度较高;由于合成橡胶的抗撕裂性能较差,4个配方生胶体系均以合成橡胶为主,因此撕裂强度均略低。

BR在很大程度上影响胶料的耐磨性能,胶料中BR的用量越大,其耐磨性能越好,但是用量过大会影响胶料的耐老化性能和抗湿滑性能。配方A和B中BR用量较大,因此其胶料的DIN磨耗指数较高,但是配方B胶料中含有ESBR,由于其分子结构特征,与白炭黑的结合较差,配方B胶料的DIN磨耗指数低于配方A胶料。配方C中的BR用量较小,且含大量ESBR,虽然加入更耐磨的炭黑N234,其胶料耐磨性能远差于配方A胶料。配方D中的BR用量较小,但是SSBR用量较大,其分子链中含有大量乙烯基,可提供更多与白炭黑硅烷化反应的活性连接点<sup>[8-9]</sup>,有利于白炭黑的分散,因此其胶料DIN磨耗指数较高。

在100℃×48 h老化后,配方A、B和C胶料的300%定伸应力、拉伸强度和拉断伸长率变化较大,老化性能保持率均小于配方D胶料,即配方D胶料的耐老化性能最优。这是由于在相同防老体系下,配方D中NR和BR用量最小,而SSBR用量大,因此其胶料耐老化性能优异。

### 2.1.3 动态性能

小配合试验胶料的动态性能如表4所示。

表4 小配合试验胶料的动态性能

项 目	配方编号			
	A	B	C	D
玻璃化温度( $T_g$ )/℃	-28.5	-35.5	-29.9	-12.5
损耗因子( $\tan\delta$ )				
0℃	0.345	0.284	0.327	0.481
60℃	0.147	0.156	0.168	0.131

生胶体系的种类及配比基本决定混炼胶的 $T_g$ 。从表4可以看出,配方A、B和C胶料由于含有大量 $T_g$ 较低的NR和BR,因此其 $T_g$ 较低,配方D由于BR用量较小,且 $T_g$ 较高的SSBR用量大,因此其胶料 $T_g$ 较高,但可以满足热带雨林环境使用要求。

从表4还可以看出,由于SSBR分子结构特点及白炭黑的用量影响,配方D胶料0℃时的 $\tan\delta$ 最大,60℃时的 $\tan\delta$ 最小,即配方D胶料的抗湿滑性能最优,滚动阻力最小<sup>[10]</sup>。

### 2.2 大配合试验

选择配方D,略调整炭黑N234和TDAE的用量后进行大配合试验。

大配合试验胶料的性能如表5所示。

表5 大配合试验胶料的性能

项 目	配方D	项 目	配方D
门尼粘度[ML(1+4) 100℃]	55	撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	59
门尼焦烧时间 $t_5$ (127 ℃)/min	24.5	DIN磨耗指数	121
硫化仪数据(145℃)		100℃×48 h老化后	
$F_L$ /(dN·m)	2.1	邵尔A型硬度/度	52
$F_{max}$ /(dN·m)	15.2	300%定伸应力/MPa	9.2
$t_{90}$ /min	18.5	拉伸强度/MPa	17.5
邵尔A型硬度/度	50	拉断伸长率/%	586
300%定伸应力/MPa	7.6	老化性能保持率 <sup>1)</sup> /%	86.5
拉伸强度/MPa	18.1	$T_g$ /℃	-13.2
拉断伸长率/%	655	$\tan\delta$	
		0℃	0.475
		60℃	0.133

注:同表3。

从表5可以看出,大配合试验胶料的试验结果与小配合试验结果吻合。

### 2.3 成品轮胎室内性能

用大配合试验胶料生产成品轮胎AT24×12-10-8PR 69N,并与国际某品牌轮胎进行室内性能对比,结果如表6所示。

从表6可以看出,与竞品轮胎相比,试验轮胎高速性能更优异,其滚动阻力明显低于竞品轮胎,具有优异的燃油经济性。纵向动摩擦因数体现轮胎对路面的抓着性能,其值越高,说明抓着

表6 成品轮胎室内性能

项 目	试验轮胎	竞品轮胎
高速通过速度 <sup>1)</sup> /(km·h <sup>-1</sup> )	140	140
累计行驶时间/h	1.67	1.25
累计行驶里程/km	285.0	226.7
试验结束时轮胎状况	胎肩脱层	胎肩脱层
滚动阻力系数 <sup>2)</sup> /(N·kN <sup>-1</sup> )	6.8	8.1
纵向动摩擦因数	0.805	0.652

注:1)成品轮胎高速测试参数设置为第1阶段 0~120 km·h<sup>-1</sup>,持续10 min;第2阶段 120 km·h<sup>-1</sup>,持续10 min;第3阶段 130 km·h<sup>-1</sup>,持续10 min;第4阶段 140 km·h<sup>-1</sup>,持续30 min后继续测试直至轮胎破坏。2)试验速度为80 km·h<sup>-1</sup>。试验充气压力为45 kPa,负荷为286 kg。

性能越好。试验轮胎的纵向动摩擦因数比竞品轮胎提高了23.5%。

成品轮胎在东南亚某国进行了路试,客户反馈该产品在不同路面包覆性强,具有很强的操控性和优异的抓着性能。相比竞争品牌,该产品节油5%以上。

### 3 结论

通过优化胶料中NR、BR、SBR、填料和橡胶油的配比,确定非公路赛地赛车轮胎胎面胶配方。该配方胶料的硬度满足客户要求,湿地抓着性能优异,且具有优异的耐老化性能。成品轮胎高速性能优异,具有较低的滚动阻力和较好的抓

着性能。通过市场反馈,该产品较好地满足非公路赛地路面要求。

### 参考文献:

- [1] 王丽娥,苟登峰,邓旺. SBR1721和SBR1712的性能研究[J]. 广东化工,2014,41(12):267-268.
- [2] 曲信松. 填充国产环保型芳烃油的SBR1723与普通充油SBR1712性能对比[J]. 石油化工,2022,51(5):555-560.
- [3] 付玉娥,于恩强,商希红,等. 环保橡胶油的研究开发及工业化[J]. 润滑油,2011(5):7-11.
- [4] 胡保利,吕万树,王雪,等. 充环烷油溶聚丁苯橡胶的实用配合研究[J]. 橡胶工业,2021,68(5):323-331.
- [5] 王雪,呼振鹏,姜云平,等. 国产环保型增塑剂在溶聚丁苯橡胶中的应用[J]. 橡胶工业,2019,66(6):445-449.
- [6] 郭庆,尚志强,陈晓博,等. 抗湿滑、低滚动阻力环保型溶聚丁苯橡胶SOL RC2557TH生产技术和性能研究[J]. 橡胶科技,2020,18(2):101-106.
- [7] 李波,燕鹏华,何连成,等. 溶聚丁苯橡胶2557TH和2557S的性能对比[J]. 橡胶科技,2018,16(8):11-16.
- [8] 刘华侨,孙茂忠,李红卫,等. 不同牌号溶聚丁苯橡胶在轮胎胎面胶中的应用性能[J]. 轮胎工业,2020,40(5):287-290.
- [9] 朱庆帅,李红卫,田健,等. 215/45ZR1791W漂移赛车子午线轮胎的设计[J]. 轮胎工业,2019,39(2):87-90.
- [10] HONG S W. 用动态粘弹性能预测轮胎使用性能[J]. 吴秀兰,译. 轮胎工业,1996,16(1):17-22.

收稿日期:2023-06-27

## Development of Tread Compound Formula for Off-road Racing Tire

WEI Chunli, XU Xueqiang, JIANG Huaxue

(Sichuan Haida Rubber Group Co., Ltd, Jianyang 641402, China)

**Abstract:** The development of tread compound formula for off-road racing tire was introduced. The reasonable raw rubber system (blending of natural rubber/cis polybutadiene rubber/solution polymerized styrene butadiene rubber) and reinforcement system (blending of a large amount of silica and a small amount of carbon black) were used in the tire tread compound formula, and a large amount of environment-friendly aromatic oil was filled. Compared with competing tires, the test tires produced by choosing test compounds with lower hardness, better heat aging resistance and wet skid resistance, and lower rolling resistance had better high-speed performance, handling and grip performance, and could save more than 5% fuel.

**Key words:** off-road racing tire; tread compound; physical property; dynamic property