

# 速溶流体黑金橡胶在轮胎中的应用

韩洪伟<sup>1</sup>, 于江升<sup>1</sup>, 周洪<sup>2</sup>, 刘志勇<sup>2</sup>

(1. 天津市万达轮胎集团有限公司, 天津 300402;

2. 江苏中宏环保科技有限公司, 江苏 无锡 214437)

随着汽车工业的飞速发展, 轮胎作为汽车的重要配件之一, 对轮胎的性能及成本也提出了更高的要求, 对原材料的用量需求也日益扩大。功能性新材料的创新对提高轮胎性能至关重要, 环保改性新材料在轮胎中的应用也迫在眉睫, 降低碳排放, 节约原材料使用, 以满足轮胎制造的可持续发展。

生物基材料和再生材料的使用, 可减少对石油基材料的需求, 降低碳排放, 有效降低轮胎制作成本。速溶流体黑金橡胶以废旧轮胎为基础原料, 经过系列物理及化学改性处理后制得的一种环保改性新材料, 含有橡胶烃成分, 具备软化剂作用, 并能够与橡胶发生交联反应, 与操作油相比, 不会从配方中析出, 对环境保护有积极的作用。本工作研究速溶流体黑金橡胶不同比例替代传统操作油在轮胎中的应用。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

天然橡胶, STR20, 泰国产品; 镍系丁二烯橡胶, 牌号BR9000, 中国石油天然气股份有限公司大庆石化分公司; 乳聚丁苯, 牌号SBR1723, 中国石油化工股份有限公司齐鲁分公司橡胶厂; 炭黑, 牌号N234, 江西黑猫炭黑股份有限公司; 环保芳烃油, 牌号V500, 宁波汉圣化工有限公司产品; 速溶流体黑金橡胶, 山西宏辉新材料科技有限公司。

### 1.2 试验配方

试验胎面配方如表1所示, 其中使用速溶流体黑金橡胶, 分别代替配方中环保芳烃油用量的0%、30%、50%、80%。

### 1.3 主要设备和仪器

XM270 (4-40) 型密炼机, 大连橡塑机械股份有限公司产品; MFR100自动型无转子流变仪, 上海诺

表1 试验配方

组分	配方编号			
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
STR20	55	55	55	55
BR9000	15	15	15	15
SBR1502	30	30	30	30
N234	60	60	60	60
V500	12	8.4	6	2.4
速溶流体黑金橡胶	0	3.6	6	9.6
其他	17.4	17.4	17.4	17.4

甲仪器仪表有限公司; MVS3L型门尼黏度仪, 上海诺甲仪器仪表有限公司; GT-AI-7000S型电子式万能试验机, 高铁检测仪器有限公司; GT-7012-D型DIN磨耗试验机, 高铁检测仪器有限公司; GT-7012-Q型橡胶动态切割试验机, 高铁检测仪器有限公司; RPA2025橡胶加工分析仪, 上海梓萌智能机器人有限公司产品; VR-7130型动态机械分析 (DMA) 仪, 日本UESHIMA产品。

### 1.4 试样制备

胶料采用3段混炼工艺, 均在XM270型密炼机进行。

一段混炼工艺为: 加入各种生胶、其他母炼胶小料和炭黑→压压砣30 s, 转速55 r/min→提压砣到位, 清扫, 温度115 °C→加油→压压砣25 s→提压砣到位, 清扫→压压砣至160 °C排胶;

二段混炼工艺为: 加入一段母炼胶→压压砣40 s, 转速45 r/min→提压砣到位, 清扫→压压砣30 s, 转速30 r/min→提压砣到位, 清扫→压压砣至160 °C排胶;

三段混炼工艺为: 加入二段母炼胶和终炼胶小料→压压砣40 s, 转速25 r/min→提压砣到位, 清扫→压压砣至100 °C排胶。

### 1.5 性能分析

(1) 加工性能。采用RPA测试混炼胶的损耗因子

$\tan\delta$ , 测试条件为: 温度 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 频率 $0.1\text{ Hz}$ , 应变扫描 $0.7\sim 1\ 256\%$ 。

(2) 动态力学性能。采用DMA仪进行测试, 测试条件为: 频率 $10\text{ Hz}$ , 动应变 $0.25\%$ , 温度扫描 $-60\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 动态切割性能: 使用橡胶动态切割试验机测试切割质量损失率。

(4) 环保性能: 使用核磁共振仪(NMR)测试H-bay质子。

(5) 低温性能: 使用低温箱测试不同停放时间的邵尔A硬度。

(6) 其他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 硫化特性

胶料的硫化特性如表2所示。

表2 胶料的硫化特性

项目	配方编号			
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
门尼黏度 $[M_{10}(1+4)100\text{ }^{\circ}\text{C}]$	61	61	61	62
门尼焦烧时间 $t_5(125\text{ }^{\circ}\text{C})/\text{min}$	34.13	34	33.9	33.78
硫化仪数据 ( $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ )				
$M_L/(\text{dN}\cdot\text{m})$	1.98	1.97	1.99	2.1
$M_H/(\text{dN}\cdot\text{m})$	13.54	13.61	13.8	14.22
$T_{C10}/\text{min}$	2.86	2.78	2.7	2.61
$T_{C30}/\text{min}$	4.04	4	3.95	3.85
$T_{C90}/\text{min}$	8.04	8.02	7.96	7.90
$T_{R97}/\text{min}$	-	-	-	-

从表2可以看出: 速溶黑金橡胶不同比例替代环保芳烃油后, 对门尼黏度、焦烧时间几乎无影响, 硫化速率在同一水平。随着替代比例的增加, 流变仪大转矩MH增加, 这与速溶流体黑金橡胶材料中含有橡胶烃成分有关, 在硫化过程中能够与橡胶共混, 并产生了交联反应, 形成网状空间结构。

### 2.2 物理性能

胶料的物理性能如表3所示。从表3可以看出: 速溶流体黑金橡胶的加入, 硬度保持不变, 可以提高胶料的拉伸强度和定伸, 随着用量增加扯断伸长率有下降趋势, 实际应用中可根据性能需求制定合适的替代比例。可有效提高胎面的磨耗性能, 并对撕裂性能有改善。老化后拉伸性能保持较好。

表3 胶料的物理性能

项目	配方编号			
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
密度 $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	1.141	1.141	1.142	1.142
邵尔A型硬度/度	65	65	65	66
300%定伸应力/MPa	10.8	11.1	11.5	12.1
拉伸强度/MPa	18.5	18.9	19.3	19.2
扯断伸长率/%	480	480	475	460
撕裂强度 $(\text{kN}\cdot\text{m}^{-1})$	66	70	75	76
DIN磨耗指数/%	105	109	115	120
阿克隆磨耗指数/%	110	118	120	124
100 $^{\circ}\text{C}\times 24\text{ h}$ 老化后				
邵尔A型硬度/度	70	71	70	72
300%定伸应力/MPa	13.5	13.8	13.6	14.5
拉伸强度/MPa	14.1	14.8	15.1	15.1
扯断伸长率/%	390	380	380	365

数据表明: 此配合试验中, 使用速溶流体黑金橡胶按照不同比例分别替代配方中现有的操作油, 以30%~50%替代比例最佳。

### 2.3 动态性能

胶料动态性能如表4。

表4 胶料的 $T_g$ 和 $\tan\delta$

项目	配方编号			
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
$T_g/^{\circ}\text{C}$	-44.7	-44.3	-44.1	-43.8
$\tan\delta(0\text{ }^{\circ}\text{C})$	0.209	0.215	0.221	0.224
$\tan\delta(60\text{ }^{\circ}\text{C})$	0.158	0.155	0.149	0.147

硫化胶的 $\tan\delta$ -温度关系曲线如图1。

从表4和图1中可以看出: 速溶流体黑金橡胶替代配方中在用的环保芳烃油加入配方中后, 玻璃化转变温度基本不变,  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的 $\tan\delta$ 有提高,  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的 $\tan\delta$ 略有降低, 对于降低橡胶的滞后损失有利。DMA数据表明速溶流体黑金橡胶在配方中代替操作油, 基本不影响玻璃化转变温度, 对提高胶料的抗湿滑性能和降低生热均有积极作用。

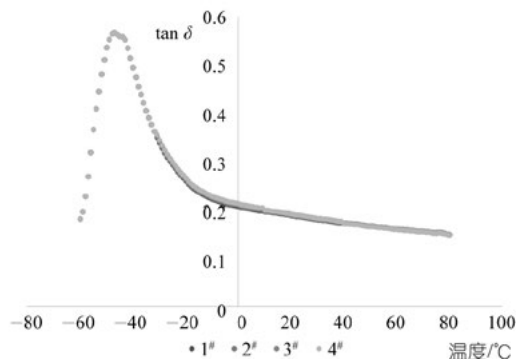


图1 硫化胶的 $\tan\delta$ -温度关系曲线

## 2.4 低温性能

硫化胶低温下的硬度增长如表5。

表5 硫化胶低温停放下的邵尔A型硬度

温度/°C	配方编号			
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
25	65	65	65	66
0	68	68	68	69
-10	71	71	71	72
-20	73	73	73	73
-30	75	76	76	76

将硫化物性试片分别置于25 °C、0 °C、-10 °C、-20 °C、-30 °C的恒定温度下，测量停放相同时间的硬度，以研究不同比例替代后在各温度条件下的硬度变化情况。从表5中可以看出：速溶流体黑金橡胶替代配方中的环保芳烃油后，硫化胶在低温下邵尔A硬度增加几乎一致，不影响胶料的低温性能，这与此材料的化学改性处理有关。

## 2.5 动态耐切割性能

硫化胶动态切割质量损失率如表6。

表6 硫化胶动态切割质量损失率

项目	配方编号			
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
切割质量损失率/%	0.45	0.42	0.39	0.35

从表6中可以看出：随着速溶流体黑金橡胶的加入和用量增加，硫化胶的动态切割质量损失率是降低的，可改善胶料的耐切割性能，对用于提高非铺装路面的胎面胶的耐切割性能有积极作用。

## 2.6 加工性能

未硫化胶的损耗因子 $\tan\delta$ -应变曲线如图2。

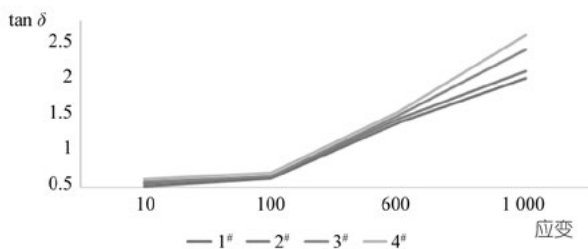


图2 未硫化胶的 $\tan\delta$ -应变关系曲线

从图2中可以看出：使用RPA测得的数据表明，随着速溶流体黑金橡胶的使用比例增加， $\tan\delta$ 增大，对降低胎面挤出口型膨胀率有积极影响，这应与速溶流体黑金橡胶的使用提高了混炼剪切作用力，从而改善

胶料的分散，使得混炼胶均一性更好。

## 2.7 环保性能

硫化胶的环保指标SVHC和H-bay含量如表7和表8。

表7 速溶流体橡胶的H-bay检测

检测项目	欧盟法规	实际
H-bay/%	≤0.35	0.33

表8 硫化胶的SVHC和H-bay

项目	配方编号			
	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
SVHC/%	符合法规	符合法规	符合法规	符合法规
H-bay/%	0.21	0.21	0.20	0.20

从表7和表8可以看出：速溶流体黑金橡胶作为一种环保改性新材料，检测各项环保指标符合欧盟的法规标准；不同比例替代环保芳烃油后，SVHC和Hbay均满足环保要求。随着使用速溶流体黑金橡胶比例的增加，环保指标基本无变化。在高用量传统芳烃操作油的配方中，使用此材料替代操作油后，环保性能优势会更明显，这与制备速溶流体黑金橡胶使用的原材料和环保处理工艺有关。

## 2.8 外观影响

外观是客户对轮胎质量满意度的指标之一，特别是胎面、胎侧的变色一直是困扰轮胎外观的难题。配方中的操作油、炭黑等成分与外观变色均有相关性，其中操作油有较大影响。为了验证速溶流体黑金橡胶对改善外观的效果，使用配方编号1<sup>#</sup>和配方编号4<sup>#</sup>的胶料，进行硫化胶片的外观确认：硫化试片停放7天后观察外观。

使用配方编号1<sup>#</sup>胶料的硫化试片外观如图3，使用配方编号4<sup>#</sup>胶料的硫化试片外观如图4。

从图3和图4的外观对比看，图3外观发红、颜色暗淡，图4外观发黑、颜色黑亮。速溶流体黑金橡胶的使用对改善轮胎外观变色问题有积极影响，理论上随着替代操作油用量的增加外观改善效果会越好。这与配方中减少了操作油量，从而降低了胶料中小分子物质的析出有关。另外，速溶流体黑金橡胶的部分成分在硫化过程中参与了化学反应，也降低了小分子物质的析出。以上两点，对改善外观变色问题起到积极作用。

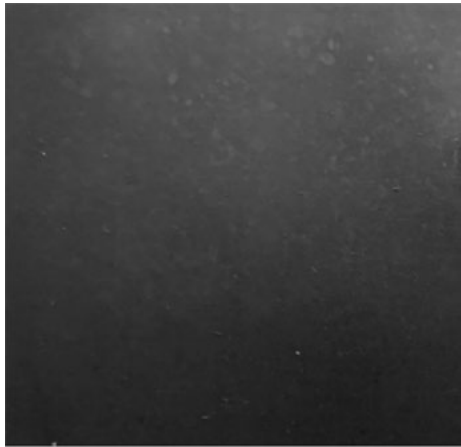


图3 编号1#胶料的硫化试片外观

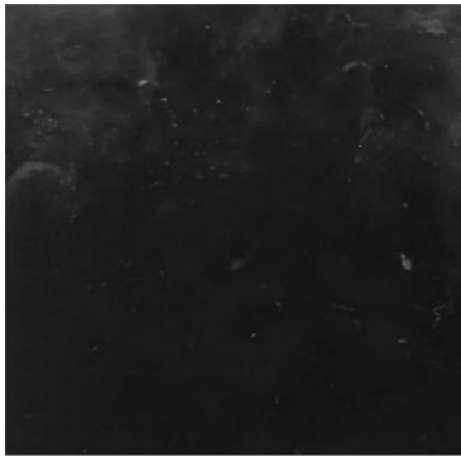


图4 编号4#胶料的硫化试片外观

### 3 结论

速溶流体黑金橡胶替代传统操作油应用到胎面配方中，能够改善胶料的物理性能，对加工性能及动态机械性能均有积极作用，可提高磨耗性能和抗湿滑性能，降低滚阻阻力。从验证对外观改善的效果来看，使用此材料替代传统操作油可作为改善外观变色问题的措施考虑。

速溶流体黑金橡胶替代操作油，由于其含有的橡胶烃成分参与了化学反应，解决了操作油析出的弊端，从而降低了对环境的污染，属于环境友好原材料，契合了目前倡导的绿色环保理念。

速溶流体黑金橡胶以废旧轮胎为基础原材料，将废弃轮胎再利用，相比传统操作油具有成本优势，且具有环保属性，可以提高社会效益，促进经济发展的可持续性。

#### 参考文献：

- [1] 杨清芝. 现代橡胶工艺学 [M]. 中国石化出版社, 2003.
- [2] 唐源, 张春华, 田庆丰, 等. 高性能轮胎胎面胶“魔三角”性能平衡研究进展 [J]. 橡胶工业, 2019,(5).
- [3] 孙岳红, 雷国安, 路丽珠, 等. 废旧橡胶循环利用技术进展 [J]. 橡胶科技, 2020,(2).
- [4] Medalia A I. Effect of carbon black on dynamic properties of rubber vulcanizates. Rubber Chem. and Technol, 1978, 51(3):457-465

转载自:《橡塑技术与装备》2026年第3期

