



# 功能化改性橡胶材料在轮胎胶料中的应用

徐世传

(杭州中策橡胶有限公司, 浙江 杭州 311607)

**摘要:**探讨橡胶材料的功能化改性及改性橡胶材料在轮胎胶料中的应用。结果表明:对橡胶功能化改性,可以改善成品轮胎的使用性能和延长使用寿命;对补强填充剂功能化改性,可以提高胶料的物理性能,特别是对白炭黑的表面改性,可以有效解决轮胎胶料的“魔三角”问题;对硅烷偶联剂功能化改性,可以大大提高胶料的耐热氧化性能和抗硫化返原性能;功能化改性技术还可以应用于加工助剂。

**关键词:**橡胶;补强填充剂;硅烷偶联剂;功能化改性;轮胎

随着橡胶应用领域和使用条件的扩展,很多橡胶制品要求具有特殊的性能,如高导电、高导热、低滞后、防静电、隔音消声、热辐射屏蔽等。但由于材料开发与应用脱节,橡胶配方设计人员较难找到方便、适用的特种原材料,因此功能性橡胶原材料的研发越来越受到重视,橡胶原材料领域出现了前所未有的“研、产、用”相结合的好现象。

本课题就是在这样的背景下,针对轮胎生产领域对胶料高耐磨、超低滞后损失、高抗硫化返原、高强度、高导热、高耐屈挠、高抗刺扎等性能要求,进行了生胶、补强填充剂及加工助剂的改性研究。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

天然橡胶(NR),国产产品;丁苯橡胶(SBR),牌号 1500,中国石油吉林石化公司产品;顺丁橡胶(BR),牌号 9000,中国石化上海高桥石化公司产品;炭黑 N330,上海卡博特化工有限公司产品;炭黑 N220,富春江化工有限公司产品;功能化改性偶联剂,本课题组与外协单位联合研制;TM-666 功能化脱模剂,兰溪田美化工助剂厂产品。

### 1.2 主要设备与仪器

XK-160 型开炼机,50 t 平板硫化机,F370 型

密炼机,C200E 型硫化仪,电子拉力机。

### 1.3 试样制备

生胶原位接枝改性在 XK-160 型开炼机上进行,塑炼和混炼按常规工艺进行。补强填充剂表面改性在 5000 mL 带高速搅拌器的四口烧瓶中进行,改性产品经真空过滤后在烘箱中于 130 ℃ 下烘干备用。优选配方的大配合试验胶料在 F370 型密炼机中混炼。试样在 50 t 平板硫化机上硫化。试验轮胎按正常生产工艺成型和硫化。

### 1.4 性能测试

胶料物理性能均按国家标准测试。成品轮胎耐天候老化性能试验方法:轮胎装配标准轮辋后充入 120% 的标准气压,然后在室外(6~9 月份)放置 80 d。

## 2 结果与讨论

### 2.1 生胶的原位接枝改性

通用胶种有些性能指标无法满足特殊产品的要求,因此对生胶进行化学改性是优化配方设计的有效方法之一。

#### 2.1.1 BR 的功能化改性

BR 具有生热低、耐磨性和弹性好、摩擦因数

小等优点,但也存在强力低、耐热老化性能差、老化后发脆等缺点,因此取其长处避其短处是BR功能化改性的目的。

本课题用马来酸酐复合改性剂对BR进行原位接枝改性,以提高并用胶的拉伸强度,改善并用胶的综合性能。BR改性前后的红外光谱如图1和2所示。BR改性前后的NR/BR并用胶物理性能对比见表1。

比较图1和2可以看出,与未改性BR相比,改性BR在波数 $1710\text{ cm}^{-1}$ 处增加了一个明显的吸收峰,可见改性是成功的。

从表1可以看出,与未改性BR的并用胶相比,改性BR的并用胶300%定伸应力提高约50%,拉伸强度提高70%以上,压缩生热降低

$6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。改性BR与其它配合剂存在协同效应。本课题曾将改性BR完全代替NR用于载重汽车轮胎基部胶,试验轮胎的机床寿命与NR基部胶正常轮胎一致。

### 2.1.2 SBR的功能化改性

SBR因耐磨性能和抗刺扎性能好、摩擦因数大等而常用于矿山轮胎胎面胶中,有利于提高胎面胶的抗刺扎性能和抗割口增长性能,但SBR生热大,老化后易发硬,与其它胶种和补强剂的相界面明显,特别是混炼胶的自黏性差。本课题对SBR改性的主要目的是提高SBR的自黏性、增大SBR与其它胶种和补强剂的相界面模糊层厚度,进而提高并用胶的综合物理性能。SBR改性前后的NR/SBR并用胶物理性能对比见表2。

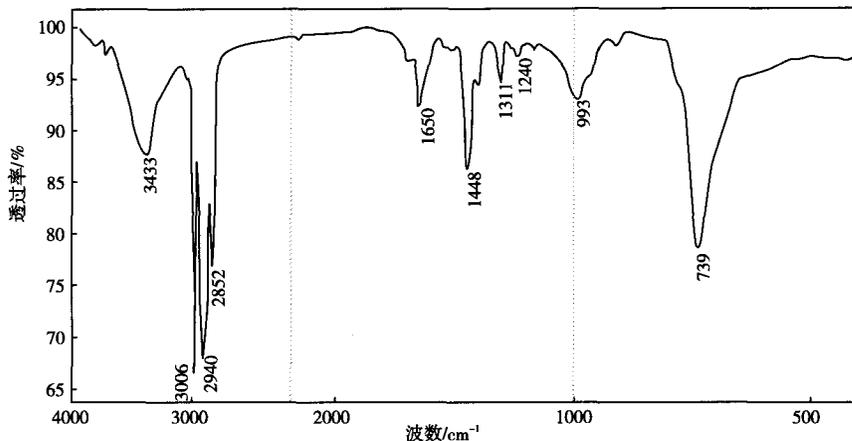


图1 未改性BR红外光谱

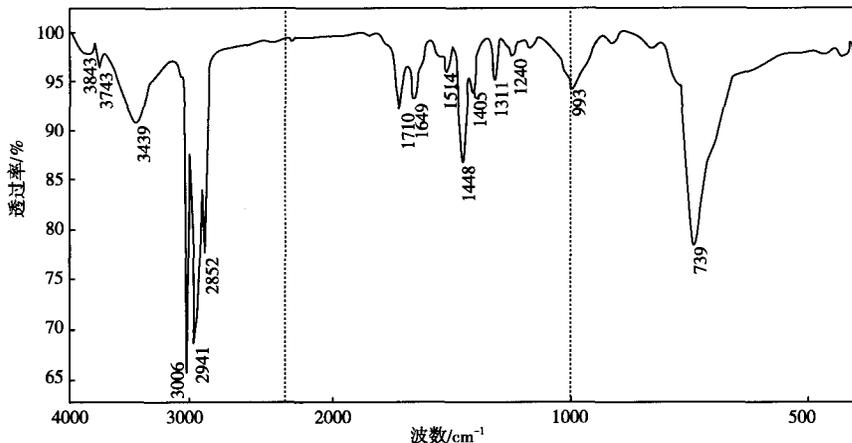


图2 改性BR红外光谱

表1 BR改性前后NR/BR并用胶的物理性能对比

项 目	配方编号			
	B-1#		B-2#	
马来酸酐复合改性剂用量/份	0		2	
硫化仪数据(143℃)				
$M_L/(N \cdot m)$	0.21		0.15	
$M_H/(N \cdot m)$	1.51		1.21	
$t_{S2}/min$	9.28		8.60	
$t_{90}/min$	18.88		15.92	
硫化时间(143℃)/min	30	45	30	45
邵尔 A 型硬度/度	60	61	63	63
300%定伸应力/MPa	6.9	6.9	10.6	10.2
拉伸强度/MPa	13.3	11.9	23.2	21.9
拉断伸长率/%	496	447	522	518
拉断永久变形 %	35	30	28	25
撕裂强度/( $kN \cdot m^{-1}$ )	30	28	47	40
回弹值/%	45	44	46	45
压缩生热/℃	16.26	19.37	9.76	9.87

注:基本配方为 NR/BR,50/50;炭黑 N375/白炭黑,40/8;氧化锌,4;硬脂酸,2;硫黄/促进剂,2,2;防老剂,2,5;其它,3。

表2 SBR改性前后NR/SBR并用胶的物理性能对比

项 目	配方编号			
	S-1#		S-2#	
生胶改性剂用量/份	0		5	
硫化仪数据(143℃)				
$M_L/(N \cdot m)$	0.42		0.39	
$M_H/(N \cdot m)$	1.66		1.62	
$t_{S2}/min$	8.58		8.25	
$t_{90}/min$	26.22		25.92	
硫化时间(143℃)/min	30	45	30	45
邵尔 A 型硬度/度	72	73	71	72
300%定伸应力/MPa	9.9	11.0	10.5	12.2
拉伸强度/MPa	22.7	21.5	23.8	23.5
拉断伸长率/%	583	514	575	536
拉断永久变形 %	30	23	25	25
撕裂强度/( $kN \cdot m^{-1}$ )	58	67	93	96
阿克隆磨耗量/ $cm^3$	0.23	0.24	0.15	0.15
切割减量/g	0.556	0.578	0.417	0.435

注:基本配方为 NR/SBR,50/50;炭黑 N220/白炭黑,50/12;偶联剂 Si69,1,2;氧化锌,4;硬脂酸,2,4;硫黄/促进剂,3;防老剂,3;微晶蜡,1;其它,15。

从表2可以看出,与未改性SBR的并用胶相比,改性SBR的并用胶的撕裂强度提高40%以上,磨耗量减小约35%,切割减量减小约25%,自黏性达到工艺性能要求,可见对SBR的功能化改性是成功的。

### 2.1.3 NR的功能化改性

NR具有强力高、压缩生热低、混炼胶自黏性好的特点,是目前为止最理想的轮胎用胶。但NR分子链上缺少强力吸附金属表面的功能基团,使得NR与未处理的金属表面黏合性能不够

理想,这也是轮胎用钢丝帘线表面必须镀铜锌合金层以提高橡胶与金属黏合性能的原因。本课题用特殊的改性剂对 NR 进行功能化改性,在 NR 分子链上引入能强力吸附金属表面的功能基团,

以提高橡胶与金属表面的黏合性能,从而减少全钢子午线轮胎因黏合缺陷而产生的早期肩空、脱层等问题。NR 改性前后的物理性能对比见表 3。

从表 3 可以看出,与未改性的 NR 相比,改性

表 3 NR 改性前后物理性能对比

项 目	配方编号			
	N-1#		N-2#	
生胶改性剂用量/份	0		8	
硫化仪数据(151℃)				
$M_L/(N \cdot m)$	0.42		0.39	
$M_H/(N \cdot m)$	1.66		1.62	
$t_{S2}/min$	8.58		8.25	
$t_{90}/min$	26.22		25.92	
硫化时间(151℃)/min	20	30	20	30
邵尔 A 型硬度/度	75	76	76	76
300%定伸应力/MPa	17.4	17.2	18.2	17.9
拉伸强度/MPa	22.2	20.3	23.5	22.8
拉断伸长率/%	366	346	405	398
拉断永久变形/%	24	21	22	21
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	41	34	68	56
与 45# 碳钢黏合强度(180°剥离)/ (kN·m <sup>-1</sup> )				
求积法	7.9		9.4	
峰值法	9.3		10.6	
剥离后碳钢表面覆胶面积/%	100		80	

注:基本配方为 NR,100;炭黑 N375/白炭黑,44/10;偶联剂 Si69,1,2;氧化锌,8;硫黄/促进剂,6;防老剂,3,5;其它,8。

NR 的 300%定伸应力、拉伸强度、拉断伸长率略有提高,撕裂强度提高 60%以上,黏合强度提高幅度较大,而最有意义的是黏合剥离后金属表面覆胶面积达到 100%。可见对 NR 的功能化改性是成功的,是一条提高橡胶复合材料界面黏合性能的新途径。

## 2.2 补强填充剂的改性

### 2.2.1 白炭黑的表面改性

白炭黑能改善胶料的撕裂强度,还能相应降低胶料的压缩生热,但是随着白炭黑用量增大,胶料的门尼黏度增大,培恩效应增强,填充剂分散程度下降,胶料的耐磨性能下降,因此有必要对白炭黑的表面进行改性,以使胶料的综合性能达到最佳。白炭黑表面改性的目的有 3 个:一是利用偶联剂的隔离作用,阻止白炭黑粒子在混炼过程中或混炼之后二次聚结而生成较大粒径的粒子,同时降低胶料的门尼黏度;二是提高白炭黑表面与

橡胶分子的物理和化学作用,在降低胶料生热性能的同时阻止耐磨性能下降,较好解决轮胎胶料的“魔三角”问题;三是减小培恩效应。

#### 2.2.1.1 白炭黑改性对胎冠胶性能的影响

白炭黑改性对胎冠胶性能影响的小配合试验结果见表 4 和图 3~5。

从表 4 和图 3~5 看出,表面未预处理白炭黑的胶料分散程度明显不如表面预处理白炭黑的胶料,尽管使用偶联剂的胶料(W-3# 配方)多加一段预混炼工艺,但表面预处理白炭黑的胶料(W-4# 配方)分散性还是更好;对于表面未预处理白炭黑的胶料(W-3# 配方),即使偶联剂用量达到白炭黑总量的 30%左右,但胶料的拉伸强度、撕裂强度与不加白炭黑的胶料(W-1# 配方)仍无显著差异,且耐磨性能下降幅度较大,虽然胶料的压缩生热下降了 3℃,但因偶联剂 Si69 的价格昂贵,胶料的性价比并不理想;与不加白炭黑的胶料(W-1#

表4 白炭黑改性对胎冠胶性能影响的小配合试验结果

项 目	配方编号			
	W-1#	W-2#	W-3#	W-4#
未预处理白炭黑用量/份	0	7	7	0
偶联剂 Si69 用量/份	0	0	2	0
表面预处理白炭黑用量/份	0	0	0	7.7
炭黑用量/份	50	45	45	45
门尼黏度[ML(1+4)100 °C]	60	58	58	62
分散度				
X	6.23	4.61	5.19	5.77
Y	9.64	9.09	9.12	9.47
硫化仪数据(143 °C)				
$M_L/(N \cdot m)$	0.64	0.66	0.68	0.60
$M_H/(N \cdot m)$	1.92	2.00	2.10	2.20
$t_{SZ}/min$	11.50	12.50	12.33	11.93
$t_{90}/min$	21.00	22.00	23.17	21.25
硫化胶性能(143 °C×30 min)				
密度/( $Mg \cdot m^{-3}$ )	1.11	1.13	1.13	1.13
邵尔 A 型硬度/度	64	64	64	64
300%定伸应力/MPa	10.5	9.8	10.1	11.4
拉伸强度/MPa	24.0	23.3	24.0	25.0
拉伸伸长率/%	550	560	580	585
拉伸永久变形/%	19	21	21	20
撕裂强度/( $kN \cdot m^{-1}$ )	85	87	95	105
阿克隆磨耗量/ $cm^3$	0.12	0.17	0.15	0.12
回弹值/%	40	39	39	40
屈挠 1.2 万次割口长度/mm	8.0	8.2	7.7	7.0
压缩生热/°C	37.0	36.0	34.0	32.0

注:基本配方为 NR,70;BR,30;氧化锌,4;硬脂酸,2;硫黄/促进剂,3.5;防老剂,3;其它,8。



图3 未使用偶联剂白炭黑的胎冠胶(W-2# 配方)电镜照片  
配方)相比,表面预处理白炭黑的胶料(W-4# 配方)物理性能明显提高,即拉伸强度由24 MPa上升到25 MPa,撕裂强度由85  $kN \cdot m^{-1}$ 提高到105  $kN \cdot m^{-1}$ ,压缩生热由37 °C下降到32 °C,屈挠割口长度减小12.5%,尤其是耐磨性能相当(这一点是本研究中最值得注意的)。试验结果表

图4 表面未预处理的白炭黑胎冠胶(W-3# 配方)电镜照片  
明,用表面预处理白炭黑替代部分炭黑,轮胎冠部胶综合性能有一个跳跃式的提高。

白炭黑改性对胎冠胶性能影响的大配合试验结果见表5。

从表5可以看出,表面预处理白炭黑的胶料(W-4# 配方)的性能较好,大配合试验结果与小配

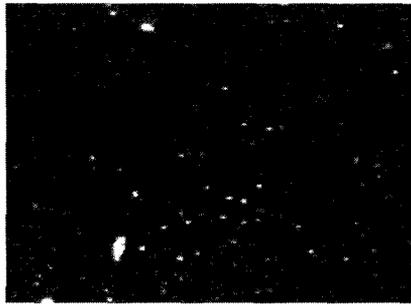


图 5 表面预处理白炭黑的胎冠胶(W-4# 配方)电镜照片

表 5 白炭黑改性对胎冠胶性能影响的大配合试验结果

项 目	配方编号		
	W-1#	W-3#	W-4#
未预处理白炭黑用量/份	0	7	0
偶联剂 Si69 用量/份	0	2	0
表面预处理白炭黑用量/份	0	0	7.7
炭黑用量/份	50	45	45
门尼黏度[ML(1+4)100 °C]	68	68	69
硫化仪数据(143 °C)			
$M_L/(N \cdot m)$	0.69	0.70	0.70
$M_H/(N \cdot m)$	1.85	1.90	1.78
$t_{S2}/min$	11.75	12.08	12.17
$t_{90}/min$	22.42	23.17	23.45
硫化胶性能(143 °C×30 min)			
密度/( $Mg \cdot m^{-3}$ )	1.12	1.13	1.13
邵尔 A 型硬度/度	68	68	69
300%定伸应力/MPa	11.2	11.0	11.3
拉伸强度/MPa	27.0	27.2	27.8
拉伸伸长率/%	530	568	560
拉伸永久变形/%	25	25	24
撕裂强度/( $kN \cdot m^{-1}$ )	96	97	101
阿克隆磨耗量/ $cm^3$	0.13	0.16	0.13
回弹值/%	35	35	35
屈挠 1.2 万次割口长度/mm	7.7	7.0	6.6
压缩生热/°C	38.0	35.0	33.5

合试验结果一致。

### 2.2.1.2 白炭黑改性对胎体胶性能的影响

白炭黑改性对胎体胶性能的影响见表 6。

从表 6 可以看出,与表面未预处理白炭黑的胶料(W-5# 配方)相比,表面预处理白炭黑的胶料(W-6# 配方)性能明显提高,300%定伸应力由 10.5 MPa 提高到 11.2 MPa,拉伸强度由 23.5 MPa

表 6 白炭黑改性对胎体胶性能的影响

项 目	配方编号		
	W-4#	W-5#	W-6#
未预处理白炭黑用量/份	0	5	0
偶联剂 Si69 用量/份	0	1	0
表面预处理白炭黑用量/份	0	0	5.5
炭黑用量/份	42	38	38
硫化仪数据(143 °C)			
$M_L/(N \cdot m)$	0.36	0.38	0.36
$M_H/(N \cdot m)$	1.70	1.76	1.76
$t_{S2}/min$	7.00	7.25	7.08
$t_{90}/min$	16.08	16.33	15.92
硫化胶性能(143 °C×30 min)			
密度/( $Mg \cdot m^{-3}$ )	1.10	1.11	1.11
邵尔 A 型硬度/度	60	59	59
300%定伸应力/MPa	11.0	10.5	11.2
拉伸强度/MPa	23.0	23.5	25.2
拉伸伸长率/%	510	530	545
拉伸永久变形/%	15	20	20
撕裂强度/( $kN \cdot m^{-1}$ )	45	46	45
回弹值/%	48	50	49
压缩生热/°C	22.0	21.5	19.0
成品轮胎性能			
耐久性能累计试验时间			
(55 $km \cdot h^{-1}$ )/h	80.00	79.83	96.63
标准气压与零气压下			
外直径增大率/%	0.30	0.32	0.26

注:基本配方为 NR,80;BR,20;氧化锌,4;硬脂酸,2;硫黄/促进剂,3.1;防老剂,4;其它,7。

提高到 25.2 MPa,压缩生热由 21.5 °C 下降到 19.0 °C,而硫化速度没有明显变化;成品轮胎耐久性能累计试验时间由 79.83 h 延长到 96.63 h。需要注意的是,使用表面预处理白炭黑的胎体胶成品轮胎充入标准气压后外直径增大值比使用表面未处理白炭黑的胎体配方成品轮胎外直径增大值小,这个特性显然对解决胎体变形大、轮胎抗刺扎不理想及花纹沟底易裂等问题具有积极作用。

### 2.2.2 轻质碳酸钙的表面改性

轻质碳酸钙作为一种廉价的白色填料广泛用于橡胶和塑料制品中,因此对轻质碳酸钙表面进行化学和物理改性,使其成为某种功能材料的替代品或功能材料的载体,不仅是碳酸钙生产企业关心的问题,也是橡胶配方设计人员关注的热点。目前这方面已做的研究工作有:利用核壳原理使碳酸钙表面覆盖二氧化硅、二氧化钛、氧化锌、银

等功能化壳层,以充分改变碳酸钙产品原来的属性。本课题主要对轻质碳酸钙进行了表面包覆二氧化硅、金属铜的化学改性,并探讨了轻质碳酸钙改性对胶料性能的影响,希望能借此拓宽轮胎用原材料品种。

### 2.2.2.1 二氧化硅改性轻质碳酸钙

轻质碳酸钙表面包覆二氧化硅可以在保持轻质碳酸钙原来良好耐黄变性能的前提下提高胶料的性能,此技术是目前碳酸钙行业的热门课题。二氧化硅改性轻质碳酸钙对胶料性能的影响见表7。

表7 二氧化硅改性轻质碳酸钙对胶料性能的影响

项 目	配方编号	
	C-1#	C-2#
未改性轻质碳酸钙用量/份	40	0
二氧化硅改性轻质碳酸钙用量/份	0	40
硫化特性(143℃)		
$M_L/(N \cdot m)$	1.24	1.40
$M_H/(N \cdot m)$	11.82	11.77
$t_{S2}/min$	20.68	20.57
$t_{90}/min$	36.36	37.54
硫化胶性能(143℃×30 min)		
密度/( $Mg \cdot m^{-3}$ )	1.18	1.17
邵尔 A 型硬度/度	53	53
300%定伸应力/MPa	1.8	2.0
拉伸强度/MPa	2.1	3.0
拉断伸长率/%	387	484
拉断永久变形/%	10	11
撕裂强度/( $kN \cdot m^{-1}$ )	15	18
110℃×24 h 老化后性能		
邵尔 A 型硬度/度	58	59
300%定伸应力/MPa	—	2.5
拉伸强度/MPa	2.2	2.8
拉断伸长率/%	266	335
拉断永久变形/%	7	4

注:基本配方为 SBR1502,100;氧化锌,4;硬脂酸,2;硫黄,2;促进剂 NS,1.5。

从表7可以看出,与未改性的轻质碳酸钙胶料(C-1#配方)相比,二氧化硅改性的轻质碳酸钙胶料(C-2#配方)硫化特性基本未变,300%定伸应力提高11%,拉伸强度提高43%,拉断伸长率提高25%,撕裂强度提高20%,可见用二氧化硅改性轻质碳酸钙效果较好。

### 2.2.2.2 铜改性轻质碳酸钙

铜改性轻质碳酸钙对胎侧胶性能的影响见表8和图6。

表8 铜改性轻质碳酸钙对胎侧胶性能的影响

项 目	配方编号		
	T-1#	T-2#	T-3#
铜改性轻质碳酸钙用量/份	0	10	0
铜粉用量/份	0	0	10
$M_L/(N \cdot m)$	1.84	1.70	1.50
$M_H/(N \cdot m)$	13.00	15.53	11.97
$t_{S2}/min$	9.36	8.12	5.96
$t_{90}/min$	20.40	26.38	19.96
硫化胶性能(143℃×45 min)			
密度/( $Mg \cdot m^{-3}$ )	1.14	1.18	1.21
邵尔 A 型硬度/度	62	66	62
300%定伸应力/MPa	7.3	9.1	7.2
拉伸强度/MPa	15.0	15.0	13.8
拉断伸长率/%	533	441	514
拉断永久变形/%	20	19	22
撕裂强度/( $kN \cdot m^{-1}$ )	65	69	65
110℃×24 h 老化后性能			
邵尔 A 型硬度/度	65	68	70
300%定伸应力/MPa	8.6	9.7	10.2
拉伸强度/MPa	12.6	11.9	11.3
拉断伸长率/%	428	368	317
拉断永久变形/%	20	18	9

注:基本配方为 NR/BR/SBR,100;炭黑/填充剂,63;氧化锌,3.5;硬脂酸,2;硫黄/促进剂,2.3;防老剂,5;其它,16。

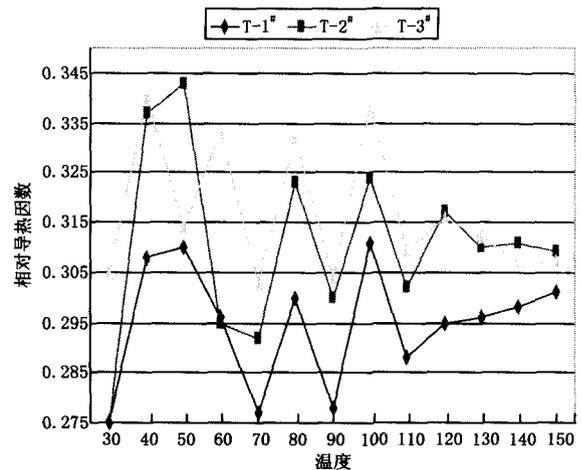


图6 铜改性轻质碳酸钙对胎侧胶导热性能的影响

从表 8 可以看出,与未改性轻质碳酸钙的胶料(T-1# 配方)相比,加 10 份改性轻质碳酸钙的胶料(T-2# 配方)硬度增大,300%定伸应力和撕裂强度提高,拉断伸长率下降,其它性能变化不大。从图 6 可以看出,加 10 份铜改性轻质碳酸钙的胶料相对导热因数接近于加 10 份铜粉的胶料,在部分温度区域内还大于加 10 份铜粉的胶料,可见铜改性轻质碳酸钙可以作为轻质碳酸钙功能化改性的途径之一。

### 2.3 橡胶助剂的功能化改性

#### 2.3.1 硅烷偶联剂的功能化改性

本课题组与外协单位联合研制了功能化硅烷偶联剂,该功能化硅烷偶联剂对轮胎基部胶性能的影响见表 9。

该偶联剂功能化改性的目的为:①与白炭黑的偶联效果达到 Si75 或 Si69 水平;②对任何硫化体系胶料的抗硫化还原性能都能达到甚至超过抗硫化返原剂 PK900(只对普通硫黄硫化体系有作用)的水平。

从表 9 可以看出,与未加功能化硅烷偶联剂的胶料(J-1# 配方)相比,加 2 份功能化硅烷偶联剂的胶料(J-2# 配方)300%定伸应力、撕裂强度明显提高,最有意义的是耐老化性能大幅度提高,这在以前采用普通硫黄硫化体系的基部胶配方设计试验中未发现,可以说硅烷偶联剂功能化改性技术非常成功。

#### 2.3.2 对轮胎硫化脱模剂的改性

对轮胎硫化脱模剂的功能化改性是本课题组委托兰溪田美化工助剂厂和晨光化工研究院进行的,目前改性产品 TM-666 功能化脱模剂已用于正常生产,脱模剂的性价比、轮胎耐天候老化性能对比见表 10 和 11,轮胎耐天候老化性能试验见

表 9 功能化硅烷偶联剂对轮胎基部胶性能的影响

项 目	配方编号	
	J-1#	J-2#
功能化硅烷偶联剂用量/份	0	2
硫化仪数据(143 ℃)		
$M_L/(N \cdot m)$	1.37	1.19
$M_H/(N \cdot m)$	13.92	14.44
$t_{S2}/min$	9.08	7.93
$t_{90}/min$	16.47	15.57
硫化胶性能(143 ℃×30 min)		
邵尔 A 型硬度/度	62	62
300%定伸应力/MPa	9.7	10.5
拉伸强度/MPa	25.5	25.9
拉断伸长率/%	554	556
拉断永久变形/%	20	23
撕裂强度/(kN·m <sup>-1</sup> )	68	84
110 ℃×24 h 老化后		
邵尔 A 型硬度/度	65	66
300%定伸应力/MPa	11.5	12.3
拉伸强度/MPa	21.0	21.5
拉断伸长率/%	465	564
拉断永久变形/%	20	20

注:基本配方为 NR,100;炭黑 N539,45;氧化锌,3.5;硬脂酸,2.4;硫黄/促进剂,2.8;防老剂,2.8;其它,5。

图 7,天候老化试验 80 d 后轮胎表面见图 8~10。

从表 10 可以看出,国产 TM-666 功能化脱模剂的性价比明显高于进口脱模剂;从图 8~10 成品轮胎老化后裂纹和色泽变化看,国产 TM-666 功能化脱模剂的防老化效果优于进口脱模剂。

可见材料的功能化改性技术不仅可以应用于橡胶,还可以应用于加工助剂。

## 3 结论

(1)对轮胎用橡胶的功能化改性可以改善胶料的黏合性能、抗切割性能、降低生热,提高成品

表 10 脱模剂的性价比

项 目	TM-666 功能化脱模剂	进口脱模剂	瓶装喷雾硅油
产品价格/元	60 <sup>1)</sup>	170 <sup>1)</sup>	9 <sup>2)</sup>
每条轮胎脱模剂耗用成本/元	0.126	0.32	0.129
环保性	环保	环保	不环保
使用后轮胎外观色泽变化	无变化	无变化	有变化

注:1)每千克价格;2)每瓶价格。

表 11 脱模剂对成品轮胎耐候老化性能(夏季)的影响

表面状况	TM-666 功能化脱模剂	进口脱模剂	瓶装喷雾硅油
裂纹状况			
5 d	开始出现细小龟裂纹	未出现细小龟裂纹	未出现细小龟裂纹
10 d	细小龟裂纹扩展	未出现细小龟裂纹	开始出现细小龟裂纹
15 d	细小龟裂纹扩展,最大龟裂纹长度 1.5 mm	开始出现细小龟裂纹	细小龟裂纹扩展
20 d	最大龟裂纹长度 2 mm,裂纹扩展面积 30%	未出现细小龟裂纹扩展	最大龟裂纹长度 2 mm,裂纹扩展面积 25%
色泽变化	老化 15 d 后表面颜色明显泛红黄	老化 20 d 后表面颜色未变化	老化 20 d 后表面颜色略泛黄



图 7 轮胎耐候老化试验



图 9 涂进口脱模剂的轮胎耐候老化试验后表面的电镜照片



图 8 不涂脱模剂的轮胎耐候老化试验后表面的电镜照片



图 10 涂 TM-666 功能化脱模剂的轮胎耐候老化试验后表面的电镜照片

轮胎的使用性能和延长使用寿命。

(2)对补强填充剂的功能化改性,可以提高胶料的物理性能,特别是对白炭黑的表面改性,可以有效解决轮胎胶料的“魔三角”问题。

(3)对硅烷偶联剂的功能化改性,可以大大提高胶料的耐热氧老化性能和抗硫化返原性。

(4)功能化改性技术还可以应用于加工助剂,以提高橡胶制品的特定性能。

(5)橡胶和助剂生产企业应更加关注橡胶材料应用领域的技术发展和性能提升要求,开展多层次的“生产、研发、应用”三结合的科技合作,以加速我国橡胶工业科技现代化发展。

欢迎在《橡胶科技市场》上刊登广告