

# 低滚动阻力轿车轮胎胎面配方的材料选择

张建军<sup>1,2</sup>,任福君<sup>2</sup>,董兴旺<sup>2</sup>

(1. 青岛科技大学 材料科学与工程学院, 山东 青岛 266042; 2. 中策橡胶集团有限公司, 浙江 杭州 310008)

**摘要:**研究溶聚丁苯橡胶(SSBR)、白炭黑、硅烷偶联剂和特殊弹性体 Nanoprene BM75 对低滚动阻力轮胎胎面胶性能的影响。结果表明:采用合适结构的 SSBR 替代乳聚丁苯橡胶或采用白炭黑替代炭黑都可以在提高轮胎抗湿滑性能的同时降低滚动阻力,改性 SSBR 的动态性能优于相同微观结构的未改性 SSBR;新型硅烷偶联剂胶料比传统硅烷偶联剂胶料动态性能更好;特殊弹性体 Nanoprene BM75 也可有效降低滚动阻力。

**关键词:**溶聚丁苯橡胶;白炭黑;胎面配方;动态性能;滚动阻力

**中图分类号:**U463.341<sup>+</sup>4;TQ336.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-8171(2014)08-0480-08

在保证良好轮胎抗湿滑性能的前提下降低滚动阻力是轮胎设计者一直努力的目标。2012年11月欧洲标签法规 EC 1222/2009 开始实施,滚动阻力和湿滑指数作为三项指标中的重要两项被强制贴标执行,进一步促进了国内外绿色低滚动阻力轮胎的研发进展。开发低滚动阻力轮胎必须以保障安全为前提,因为许多降低滚动阻力的途径会带来抗湿滑性能的下降。以欧洲标签轮胎为例,为了保证安全性能,半钢子午线轮胎抗湿滑指数比较认可的等级是达到 1.25~1.39 的 C 级水平,而达到 1.40~1.54 的 B 级甚至 A 级水平则更受欢迎。根据胎面温度依赖性,抗湿滑性能和滚动阻力与不同温度下动态粘弹性能有对应关系,要确保达到抗湿滑指数 C 级水平,按照设计经验,0℃下的损耗因子( $\tan\delta$ )一般要在 0.30 以上,在此前提下,进行低滚动阻力轿车轮胎胎面设计才具有现实意义。本研究以此为前提,围绕与低滚动阻力轿车轮胎胎面设计相关性较强的材料进行试验,重点考察混炼胶动态性能,以期提供低滚动阻力轮胎胎面配方材料选择要点。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

溶聚丁苯橡胶(SSBR),牌号 2557,中石油独

山子石化公司产品;顺丁橡胶(BR),牌号 9000,中石化北京燕山石油化工股份有限公司产品;炭黑 N234,卡博特公司产品;白炭黑 Z1165MP,索尔维(化工)上海有限公司(原罗地亚公司)产品;偶联剂 Si747,上海麒祥化工有限公司产品;偶联剂 Si75,江西宏柏化学科技有限公司产品;环保油 V700,德国汉圣公司产品。

### 1.2 主要设备和仪器

1.5 L 切线型密炼机,青岛测控科技有限公司产品;VSMV100B 型门尼粘度仪,上海诺甲仪器有限公司产品;GT-M2000A 型硫化仪,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品;Gabometer 4000 型动态粘弹性试验机,德国 GABO 公司产品。

### 1.3 性能测试

#### 1.3.1 动态粘弹性

采用动态粘弹性试验机以拉伸模式对胶料进行温度扫描,测试条件:温度  $-50\sim+80\text{℃}$ ,频率 20 Hz,升温速率  $2\text{℃}\cdot\text{min}^{-1}$ ,静态应变 7%,动态应变 0.25%。储能模量( $E'$ )、复合模量( $E^*$ )和  $\tan\delta$ ,按需进行温度变化曲线表征。本研究以胶料动态性能进行轮胎滚动阻力和抗湿滑性能表征:0℃下的  $\tan\delta$  表征轮胎抗湿滑性能的好坏, $\tan\delta$  值越大抗湿滑性能越好;60℃下的  $\tan\delta$  表征轮胎滚动阻力的大小, $\tan\delta$  值越小滚动阻力越小。

#### 1.3.2 物理性能

胶料的邵尔 A 型硬度、定伸应力、拉伸强度、

**作者简介:**张建军(1971—),男,黑龙江林口县人,青岛科技大学在职硕士研究生,中策橡胶集团有限公司高级工程师,主要从事配方开发工作。

拉断伸长率和撕裂强度均按照相应国家标准进行测试,撕裂强度测试采用直角形试样。

2 结果与讨论

2.1 SSBR 替代乳聚丁苯橡胶 (ESBR) 用于低滚动阻力轮胎胎面胶中的优势

相较于 ESBR,SSBR 结合乙烯基含量可调,结合乙烯基含量对抗湿滑性能的影响与结合苯乙烯含量类似,但对生热影响小于结合苯乙烯。在白炭黑配方中结合乙烯基与硅烷偶联剂反应比较活跃,有利于提高硅烷化反应从而降低佩恩效应,进而减小填料网络化结构,降低胶料滞后损失,即降低轮胎滚动阻力。为了验证 SSBR 和 ESBR 在这方面的差异,本研究采用白炭黑和炭黑混合配方进行试验,对比 SSBR2557 替代 ESBR1723 后胶料动态性能、硫化特性和物理性能的变化情况。SSBR2557 和 ESBR1723 的微观结构对比如表 1 所示。

表 1 SSBR2557 和 ESBR1723 的微观结构对比

| 项 目                                  | SSBR2557 | ESBR1723 |
|--------------------------------------|----------|----------|
| 结合苯乙烯质量分数                            | 0.250    | 0.235    |
| 结合乙烯基质量分数                            | 0.51     | 0.12     |
| 玻璃化温度( $T_g$ )/ $^{\circ}\text{C}$   | -27      | -50      |
| 门尼粘度[ML(1+4)100 $^{\circ}\text{C}$ ] | 54       | 47       |
| 充油率/%                                | 37.5     | 37.5     |

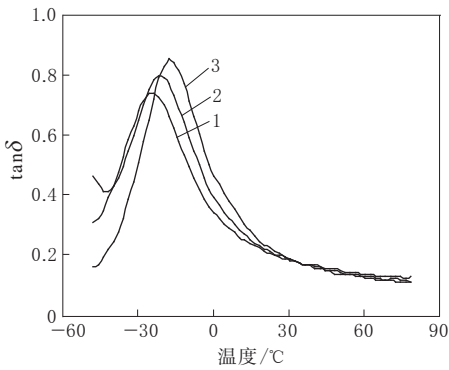
2.1.1 试验配方

试验配方为:SSBR2557/ESBR1723 60[以未充油计(下同)],并用比为 30/30,45/15 和 60/0],SBR1500 10,BR9000 30,炭黑 N220 30,环保油 30.25,白炭黑 Z1165MP 43,硅烷偶联剂 X-50-S 8.2,活性剂 4.5,防老剂 10.5,硫化剂 5.1。

2.1.2 动态性能

不同 SSBR2557/ESBR1723 并用比胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线如图 1 所示。

按照传统配合设计,为提高抗湿滑性能,一般采用高  $T_g$  的 ESBR,其缺点是会使滚动阻力升高。从图 1 可以清晰看出,采用结合苯乙烯含量相近而结合乙烯基含量较高的 SSBR2557 替代 ESBR1723,虽然  $T_g$  有所升高,但其滚动阻力降低,即采用 SSBR 可以同时改善胎面胶的抗湿滑

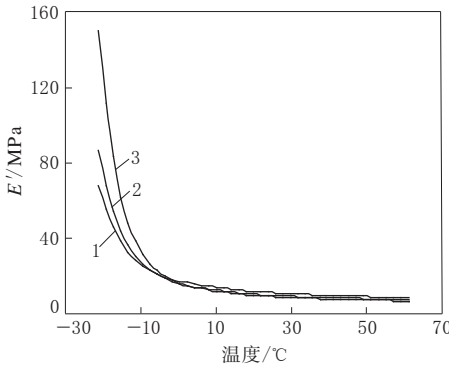


SSBR2557/ESBR1723 并用比:1—30/30;  
2—45/15;3—60/0。

图 1 不同 SSBR2557/ESBR1723 并用比胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线

性能和滚动阻力,打破“魔三角”矛盾。

不同 SSBR2557/ESBR1723 并用比胎面胶的  $E'$ -温度曲线如图 2 所示。



注同图 1。

图 2 不同 SSBR2557/ESBR1723 并用比胎面胶的  $E'$ -温度曲线

从图 2 可以看出,在常温区域,不同 SSBR2557/ESBR1723 并用比的胶料  $E'$  基本相当,但由于 SSBR2557 的  $T_g$  高于 ESBR1723,因此 SSBR 在低温区域内  $E'$  升高的温度起始点也高。但当轮胎用于东北等低温地区时,低温  $E'$  升高过早容易产生胎面不耐刺扎或不抗冲击的问题。

2.1.3 硫化特性和物理性能

不同 SSBR2557/ESBR1723 并用比的胎面胶的硫化特性和物理性能如表 2 所示。

从表 2 可以看出,SSBR 胶料硫化速度略快,转矩略有降低,这与 SSBR 硫化胶邵尔 A 型硬度和模量略低一点相对应。SSBR 硫化胶撕裂强度稍差,但总体物理性能变化不大。

表2 不同SSBR2557/ESBR1723并用比胎面胶的硫化特性和物理性能(160℃×15 min)

| 项 目                                    | SSBR2557/ESBR1723 并用比 |       |       |
|----------------------------------------|-----------------------|-------|-------|
|                                        | 30/30                 | 45/15 | 60/0  |
| 硫化仪数据                                  |                       |       |       |
| $M_L/(dN \cdot m)$                     | 1.93                  | 1.86  | 2.34  |
| $M_H/(dN \cdot m)$                     | 16.15                 | 15.16 | 15.26 |
| $t_{10}/min$                           | 2.23                  | 2.25  | 2.05  |
| $t_{30}/min$                           | 2.93                  | 2.98  | 2.78  |
| $t_{50}/min$                           | 3.50                  | 3.58  | 3.28  |
| $t_{60}/min$                           | 3.92                  | 4.02  | 3.58  |
| $t_{90}/min$                           | 7.33                  | 7.70  | 6.53  |
| 门尼焦烧时间 $t_5(127\text{ }^{\circ}C)/min$ | 14.72                 | 14.68 | 12.77 |
| 密度/ $(Mg \cdot m^{-3})$                | 1.148                 | 1.144 | 1.142 |
| 邵尔A型硬度/度                               | 63                    | 62    | 62    |
| 100%定伸应力/MPa                           | 2.83                  | 2.63  | 2.57  |
| 300%定伸应力/MPa                           | 12.82                 | 11.65 | 11.96 |
| 拉伸强度/MPa                               | 15.94                 | 14.06 | 15.15 |
| 拉断伸长率/%                                | 362                   | 329   | 361   |
| 撕裂强度/ $(kN \cdot m^{-1})$              | 67                    | 64    | 61    |

2.2 低滚动阻力轮胎胎面胶用SSBR的选择

SSBR 牌号众多,需根据性能需要进行选择。我公司对改性方法、结合苯乙烯含量、结合乙烯基含量以及相对分子质量等不同的非充油 SSBR 进行了对比试验。不同 SSBR 的宏观及微观结构特征见表 3。

表3 不同SSBR的宏观及微观结构特征

| 项 目             | SSBR 编号 |       |       |       |       |
|-----------------|---------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 1#      | 2#    | 3#    | 4#    | 5#    |
| 结合苯乙烯质量分数       | 0.10    | 0.21  | 0.21  | 0.25  | 0.21  |
| 结合乙烯基质量分数       | 0.400   | 0.610 | 0.645 | 0.666 | 0.620 |
| $T_g/^{\circ}C$ | -40     | -22   | -21   | -20   | -25   |
| 改性与否及倾向性        | A       | A     | B     | C     | A     |
| 门尼粘度            |         |       |       |       |       |
| [ML(1+4)100℃]   | 55      | 55    | 74    | 45    | 50    |

注:A—末端炭黑倾向改性;B—末端白炭黑倾向改性;C—未改性。

从表3可以看出,除4# SSBR 外,其他4种 SSBR 均进行了改性,具有相近的技术水平,4# SSBR 虽没有进行改性但该胶面世较早,性能稳定,产量也极大。

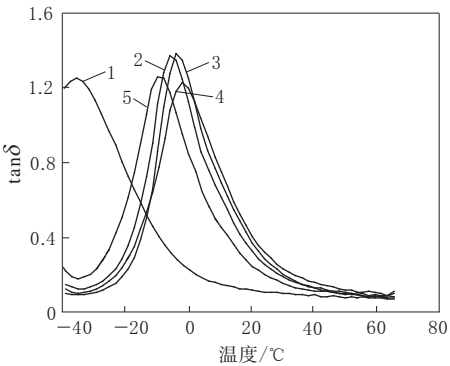
2.2.1 试验配方

采用白炭黑研究性配方进行不同 SSBR 对低滚动阻力轮胎胎面胶性能影响的研究,试验配方为:SSBR(变牌号) 70,ESBR1723 30,白炭黑 Z1165MP 50,炭黑 N234 和 N220 6,硅烷偶联

剂 X-50-S 8,氧化锌 2.5,硬脂酸 1818 1,防老剂 4020 2,环保油 16.25,促进剂 CZ 2,促进剂 DPG 1.5,硫黄 1.5。1#~5# 配方分别采用编号为1#~5# 的 SSBR。

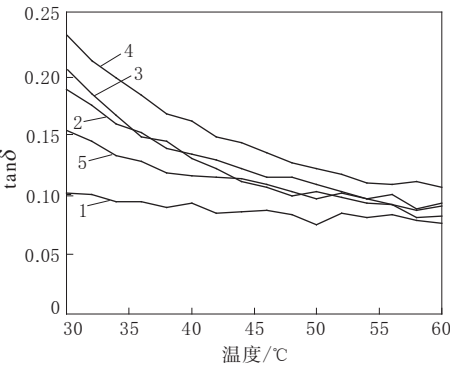
2.2.2 动态性能

SSBR 不同的胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线如图3和4所示。



配方编号:1—1#;2—2#;3—3#;4—4#;5—5#。

图3 SSBR 不同的胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线



注同图3。

图4 SSBR 不同的胎面胶室温以上的  $\tan\delta$ -温度曲线

由于 SSBR 中结合苯乙烯和乙烯基等微观结构灵活可调,因此可容易地调节生胶的  $T_g$ ;此外 SSBR 聚合时可采用偶联或改性技术使橡胶与炭黑和白炭黑结合性更好,这两点显著改变了 SSBR 混炼胶的动态性能,是 SSBR 的优势所在。以1#,2#和3# 3种改性 SSBR 配方胶料为例,1# SSBR 结合苯乙烯和乙烯基含量较低, $T_g$  较低,1# 配方胶料 0℃下的  $\tan\delta$  较低,不适合用于高抗湿滑要求的标签轮胎。2#和3# SSBR 结合苯乙烯和乙烯基含量相近, $T_g$  相当,但改性倾向性不同,采用末端白炭黑倾向改性的 SSBR 的3# 配方

胶料在本研究中抗湿滑性能和滚动阻力均比 2<sup>#</sup> 配方胶料有优势。从图 3 和 4 可以看出,采用未改性的 SSBR 的 4<sup>#</sup> 配方胶料与其余几种 SSBR 胶料相比 60 ℃ 下的  $\tan\delta$  明显偏高,这应该是受未改性的影响,但 0 ℃ 下的  $\tan\delta$  这一抗湿滑性能指标与 SSBR 改性与否无关,4<sup>#</sup> 配方胶料的抗湿滑性能较好。5<sup>#</sup> 配方胶料有较低的滚动阻力,但抗湿滑性能略差。

2.2.3 硫化特性和物理性能

SSBR 不同的胎面胶的硫化特性和物理性能如表 4 所示。

表 4 SSBR 不同的胎面胶的硫化特性和物理性能 (160 ℃ × 15 min)

| 项 目                                         | 配方编号           |                |                |                |                |
|---------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                             | 1 <sup>#</sup> | 2 <sup>#</sup> | 3 <sup>#</sup> | 4 <sup>#</sup> | 5 <sup>#</sup> |
| 硫化仪数据                                       |                |                |                |                |                |
| $M_L/(\text{dN} \cdot \text{m})$            | 2.81           | 1.94           | 2.49           | 2.05           | 3.42           |
| $M_H/(\text{dN} \cdot \text{m})$            | 17.01          | 14.61          | 14.51          | 13.81          | 15.34          |
| $t_{10}/\text{min}$                         | 3.02           | 3.28           | 3.33           | 3.35           | 3.27           |
| $t_{30}/\text{min}$                         | 3.88           | 4.25           | 4.52           | 4.48           | 4.15           |
| $t_{50}/\text{min}$                         | 4.43           | 4.92           | 5.28           | 5.23           | 4.77           |
| $t_{60}/\text{min}$                         | 4.73           | 5.33           | 5.73           | 5.72           | 5.13           |
| $t_{90}/\text{min}$                         | 7.35           | 8.78           | 9.25           | 9.47           | 8.47           |
| 门尼粘度                                        |                |                |                |                |                |
| $[\text{ML}(1+4)100\text{ }^\circ\text{C}]$ | 87             | 80             | 83             | 83             | 85             |
| 门尼焦烧时间                                      |                |                |                |                |                |
| $t_5(127\text{ }^\circ\text{C})/\text{min}$ | 22.20          | 24.92          | 25.57          | 26.20          | 20.93          |
| 密度/ $(\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3})$       | 1.131          | 1.145          | 1.141          | 1.148          | 1.142          |
| 邵尔 A 型硬度/度                                  | 59             | 59             | 57             | 58             | 58             |
| 100%定伸应力/MPa                                | 2.13           | 2.39           | 1.96           | 1.95           | 2.53           |
| 300%定伸应力/MPa                                | —              | 13.72          | 12.27          | 12.37          | —              |
| 拉伸强度/MPa                                    | 12.46          | 14.10          | 14.41          | 17.38          | 12.96          |
| 拉断伸长率/%                                     | 301            | 309            | 338            | 381            | 266            |
| 撕裂强度/ $(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$     | 63             | 59             | 51             | 54             | 58             |

由于结合苯乙烯和乙烯基含量不同,改性方向和生产工艺也有所不同,因此各 SSBR 胶料的硫化特性和物理性能也有所不同。但从表 4 可以明显看出,4<sup>#</sup> 配方胶料的拉伸强度和拉断伸长率明显高于其他 SSBR。改性 SSBR 由于增强了橡胶与填料间的相互作用,动态性能变好的同时可能导致拉伸形变补偿滑移理论中的滑移减少,从而导致胶料的拉伸强度和拉断伸长率有所下降,拉伸强度和拉断伸长率的乘积为“抗张积”,其减小可能会导致轮胎抗撕裂和磨损等性能下降。

2.3 白炭黑用于低滚动阻力轮胎胎面胶中的性能优势

在绿色子午线轮胎胎面配方中,白炭黑被广泛使用以替代炭黑。在有硅烷偶联剂参与的情况下,白炭黑配方胶料的动态综合性能优于炭黑配方胶料,首先胶料的生热明显降低使得轮胎的滚动阻力降低,同时由于白炭黑硬度较大,在磨蚀中可突出在胶料表面,更有利于提高轮胎的抗湿滑性能。

2.3.1 试验配方

不同炭黑/白炭黑并用比的 SSBR 胶料试验配方如表 5 所示。

表 5 不同炭黑/白炭黑并用比的 SSBR 胶料试验配方

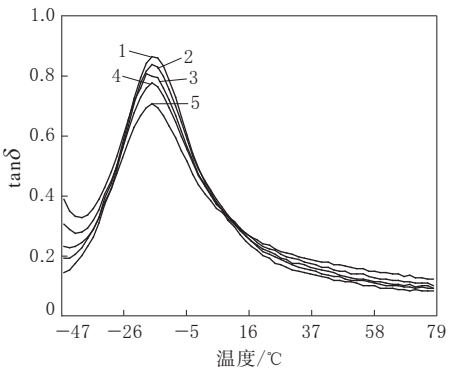
| 组 分         | 配方编号           |                |                |                |                 |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
|             | 6 <sup>#</sup> | 7 <sup>#</sup> | 8 <sup>#</sup> | 9 <sup>#</sup> | 10 <sup>#</sup> |
| 炭黑 N234     | 6              | 27             | 38             | 49             | 60              |
| 白炭黑 Z1165MP | 62             | 41             | 30             | 19             | 8               |
| 偶联剂 Si69    | 6.2            | 4.1            | 3              | 1.9            | 0.8             |
| 促进剂 DPG     | 1.5            | 1.1            | 0.7            | 0.3            | 0               |

注:配方其余组分及用量为 SSBR5025-0 60, SBR1500 20, BR9000 20, 环保油 V700 27.6, 活性剂 4, 防老剂 10, 硫化剂 4.3。

2.3.2 动态性能

不同炭黑/白炭黑并用比的 SSBR 胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线如图 5 所示,  $\tan\delta$  数据如表 6 所示。

从图5和表6可以看出,随着炭黑比例的增



配方编号:1—6<sup>#</sup>;2—7<sup>#</sup>;3—8<sup>#</sup>;4—9<sup>#</sup>;5—10<sup>#</sup>。

图 5 不同炭黑/白炭黑并用比的 SSBR 胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线

表 6 不同炭黑/白炭黑并用比的 SSBR 胎面胶的  $\tan\delta$  数据

| $\tan\delta$ | 配方编号           |                |                |                |                 |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
|              | 6 <sup>#</sup> | 7 <sup>#</sup> | 8 <sup>#</sup> | 9 <sup>#</sup> | 10 <sup>#</sup> |
| 0℃           | 0.446          | 0.452          | 0.440          | 0.434          | 0.410           |
| 60℃          | 0.095          | 0.110          | 0.117          | 0.125          | 0.146           |

高,胶料 60℃下的  $\tan\delta$  逐渐增大,0℃下的  $\tan\delta$  逐渐减小,胶料的动态性能向不利方向发展。这说明白炭黑是高抗湿滑低滚动阻力轮胎的优选原材料,其在低滚动阻力轮胎胎面中的应用也越来越广泛。

2.3.3 硫化特性和物理性能

炭黑/白炭黑并用比对 SSBR 胶料硫化特性和物理性能的影响如表 7 所示。

表 7 炭黑/白炭黑并用比对 SSBR 胶料硫化特性和物理性能的影响(160℃×15 min)

| 项 目                                     | 配方编号           |                |                |                |                 |
|-----------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
|                                         | 6 <sup>#</sup> | 7 <sup>#</sup> | 8 <sup>#</sup> | 9 <sup>#</sup> | 10 <sup>#</sup> |
| 硫化仪数据                                   |                |                |                |                |                 |
| $M_L/(\text{dN} \cdot \text{m})$        | 2.03           | 2.34           | 2.19           | 2.27           | 2.34            |
| $M_H/(\text{dN} \cdot \text{m})$        | 16.51          | 15.26          | 14.19          | 13.92          | 14.20           |
| $t_{10}/\text{min}$                     | 2.90           | 2.05           | 2.10           | 2.22           | 2.40            |
| $t_{30}/\text{min}$                     | 4.05           | 2.78           | 2.82           | 2.98           | 3.18            |
| $t_{50}/\text{min}$                     | 4.70           | 3.30           | 3.40           | 3.57           | 3.78            |
| $t_{60}/\text{min}$                     | 5.10           | 3.58           | 3.82           | 3.95           | 4.20            |
| $t_{90}/\text{min}$                     | 8.48           | 6.53           | 7.23           | 7.07           | 7.27            |
| 密度/ $(\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3})$   | 1.157          | 1.142          | 1.140          | 1.131          | 1.130           |
| 邵尔 A 型硬度/度                              | 61             | 62             | 62             | 62             | 62              |
| 100%定伸应力/MPa                            | 2.53           | 2.57           | 2.36           | 2.36           | 2.29            |
| 300%定伸应力/MPa                            | 11.05          | 11.96          | 11.41          | 11.61          | 11.2            |
| 拉伸强度/MPa                                | 14.26          | 15.15          | 17.44          | 15.9           | 15.36           |
| 拉断伸长率/%                                 | 373            | 361            | 422            | 392            | 388             |
| 撕裂强度/ $(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$ | 57             | 61             | 67             | 58             | 61              |
| 回弹值(23℃)/%                              | 38             | 35             | 32             | 30             | 26              |

从表 7 可以看出,虽然增大了促进剂 DPG 用量以调节硫化速率,并添加硅烷偶联剂进行偶联,但白炭黑用量最高的 6<sup>#</sup> 配方胶料仍存在硫化启动慢、硫化时间长的问题。

从表 7 还可以看出:在白炭黑和炭黑互换过程中,高白炭黑用量并加入偶联剂配方胶料的 100%定伸应力略高;炭黑和白炭黑用量接近的 8<sup>#</sup> 配方胶料有着较高的拉伸强度和撕裂强度。

综上所述,白炭黑替代炭黑用于 SSBR 胎面胶中同时提高了轮胎的抗湿滑性能和降低了滚动阻力,因此 SSBR 加大白炭黑比例是绿色低滚动

阻力轮胎胎面胶配方开发的技术基础。

2.4 低滚动阻力轮胎胎面胶用硅烷偶联剂选择

硅烷偶联剂是白炭黑补强橡胶的重要配方组分,行业常用偶联剂是二硫化物 Si75 和四硫化物 Si69,二者动态性能相近,但 Si75 工艺性能略好。目前新型偶联剂中比较突出的有可以高温混炼的 NXT 和带有自由巯基的 Si363,可使轮胎的滚动阻力降低 10%左右。国内厂家也开发出长链烷基改性的巯基硅烷偶联剂 Si747。本工作将偶联剂 Si75 与新型偶联剂 Si747 进行试验对比。

2.4.1 试验配方

采用不同硅烷偶联剂的胎面胶试验配方如表 8 所示。

表 8 采用不同硅烷偶联剂的胎面胶试验配方 份

| 组 分       | 配方编号            |                 |                 |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
|           | 11 <sup>#</sup> | 12 <sup>#</sup> | 13 <sup>#</sup> |
| 偶联剂 Si75  | 6.4             | 0               | 0               |
| 偶联剂 Si747 | 0               | 7.5             | 7.5             |
| 硫黄        | 2               | 2               | 2.3             |
| 促进剂 DPG   | 1.4             | 0.4             | 0.4             |
| 促进剂 TBzTD | 0               | 0.5             | 0.5             |

注:配方其余组分及用量为 SSBR2557 75, BR9000 25,白炭黑 Z1165MP 75,炭黑 N339 6,氧化锌 3,硬脂酸 1818 2,防老剂 4020 2,环保油 33.1,促进剂 CZ 2。

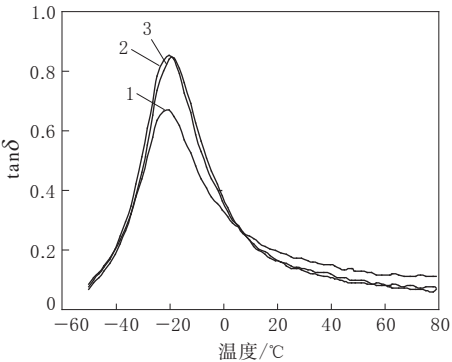
偶联剂 Si747 与 Si75 相对分子质量不同,按照等摩尔计算偶联剂 Si747 用量需要增大大约 15%;与在偶联剂 Si75 配方中促进剂 DPG 有良好活性不同的是,前期试验表明在偶联剂 Si747 配方中单独使用促进剂 DPG,胶料的硬度会非常低,为了获得相近硬度,本研究在偶联剂 Si747 配方中采用了促进剂 TBzTD 与促进剂 DPG 并用以进行等硬度调节。

2.4.2 动态性能

采用不同硅烷偶联剂的胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线如图 6 所示, $E^*$ -温度曲线如图 7 所示。

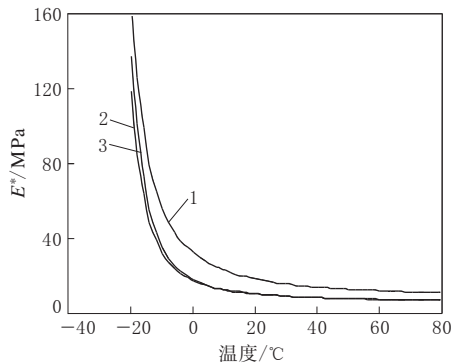
从图 6 可以明显看出,采用偶联剂 Si747 可明显降低胶料 60℃下的  $\tan\delta$ ,降幅达 25%以上,理论上可以降低 5%~10%的滚动阻力。

从图 7 可以看出,虽然使用了促进剂 TBzTD 并增大了硫黄和偶联剂 Si747 用量,但偶联剂 Si747 胶料 0.25%低应变时的动态模量仍相对



配方编号:1—11<sup>#</sup>;2—12<sup>#</sup>;3—13<sup>#</sup>。

图 6 采用不同硅烷偶联剂的胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线



注同图 6。

图 7 采用不同硅烷偶联剂的胎面胶的  $E^*$ -温度曲线

较低。

2.4.3 硫化特性和物理性能

采用不同硅烷偶联剂的胎面胶的硫化特性和物理性能如表 9 所示。

从表 9 可以看出,由于偶联剂 Si747 自身特点和使用促进剂 TBzTD 的原因,采用偶联剂 Si747 的胶料的门尼焦烧时间明显缩短,硫化速率和起硫速率也明显加快。此外,采用偶联剂 Si747 的胶料的门尼粘度上升显著,这与偶联剂 Si75 等普通硅烷偶联剂可以降低胶料的门尼粘度不同,门尼粘度显著上升对实际生产应用不利。

从表 9 还可以看出,虽然按等硬度目标设计,但偶联剂 Si747 胶料硬度还是偏低,300%定伸应力却有所上升。

综合来看,偶联剂 Si747 胶料的动态性能、硫化特性和物理性能显著异于传统硅烷偶联剂胶

表 9 采用不同硅烷偶联剂的胎面胶的硫化特性和物理性能(160 °C×15 min)

| 项 目                             | 配方编号            |                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                 | 11 <sup>#</sup> | 12 <sup>#</sup> | 13 <sup>#</sup> |
| 硫化仪数据                           |                 |                 |                 |
| $M_L/(dN \cdot m)$              | 4.20            | 4.39            | 4.55            |
| $M_H/(dN \cdot m)$              | 30.27           | 37.63           | 38.37           |
| $t_{10}/min$                    | 1.53            | 0.75            | 0.58            |
| $t_{30}/min$                    | 4.82            | 2.12            | 2.03            |
| $t_{50}/min$                    | 5.57            | 2.53            | 2.47            |
| $t_{60}/min$                    | 5.98            | 2.73            | 2.65            |
| $t_{90}/min$                    | 9.73            | 4.00            | 3.83            |
| 门尼粘度[ML(1+4)100 °C]             | 68              | 112             | 107             |
| 门尼焦烧时间 $t_5(127\text{ °C})/min$ | 45.40           | 22.10           | 23.02           |
| 邵尔 A 型硬度/度                      | 71              | 66              | 68              |
| 100%定伸应力/MPa                    | 2.17            | 1.92            | 2.29            |
| 200%定伸应力/MPa                    | 5.32            | 5.05            | 6.65            |
| 300%定伸应力/MPa                    | 9.86            | 10.11           | 13.04           |
| 拉伸强度/MPa                        | 17.37           | 17.80           | 17.17           |
| 拉断伸长率/%                         | 452             | 438             | 367             |

料,但对滚动阻力的降低效果明显,实际应用时需要在工业化生产中逐步调节配方。

2.5 纳米级特殊弹性体 Nanoprene BM75 在低滚动阻力轮胎胎面胶中的应用

朗盛公司的专利产品 Nanoprene BM75 是以丁二烯核为主体的弹性体材料,表面含有较多羟基,可以促进白炭黑分散,改善白炭黑与橡胶的结合,其  $T_g$  较低,约为  $-75\text{ °C}$ 。实践证明,使用 15 份的 Nanoprene BM75 可以降低 5%~8% 的滚动阻力。Nanoprene BM75 的另一个优点是其可以作为填料直接添加到成熟配方中,对胶料硫化速率和硬度影响不大,几乎可以不调整配方其他组分。

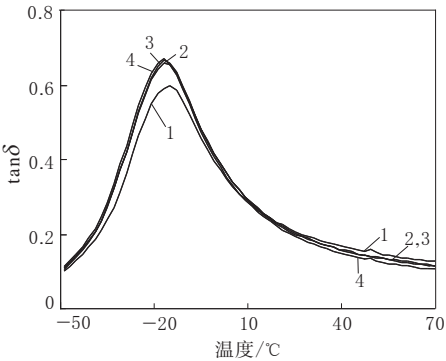
2.5.1 试验配方

Nanoprene BM75在白炭黑胎面胶中应用配方为:SSBR2557 75,BR9000 25,白炭黑 Z1165MP 75,其他 55,Nanoprene BM75 变量。

2.5.2 动态性能

Nanoprene BM75 胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线如图 8 所示,相关  $\tan\delta$  数据如表 10 所示。

从图 8 和表 10 可以看出,虽然该 Nanoprene BM75 弹性体主要成分为聚丁二烯,且其  $T_g$  较低,但在实际应用中却没有改变混炼胶的  $T_g$ ,对胶料的抗湿滑性能没有影响,而相应胶料 60 °C 下



Nanoprene BM75 用量/份:1—0;2—5;3—10;4—15。

图 8 Nanoprene BM75 胎面胶的  $\tan\delta$ -温度曲线

表 10 Nanoprene BM75 胎面胶的  $\tan\delta$  数据

| $\tan\delta$ | Nanoprene BM75 用量/份 |       |       |       |
|--------------|---------------------|-------|-------|-------|
|              | 0                   | 5     | 10    | 15    |
| 0 ℃          | 0.370               | 0.387 | 0.388 | 0.380 |
| 60 ℃         | 0.133               | 0.124 | 0.120 | 0.112 |

的  $\tan\delta$  却明显降低,表明其可以有效地降低滚动阻力。

2.5.3 硫化特性和物理性能

Nanoprene BM75胎面胶的硫化特性和物理性能如表 11 所示。

从表 11 可以看出:随着 Nanoprene BM75 用量的增大,胶料的  $M_L$  增大,说明 Nanoprene BM75 可以增大胶料粘度,这体现出其填料特征;此外,Nanoprene BM75 用量对胶料的硫化速率有轻微影响,门尼焦烧时间也基本无变化。物理性能方面,胶料的拉伸强度和拉断伸长率略有下降,定伸应力略有增大,邵尔 A 型硬度下降 2 度,可认为影响不显著。

表 11 Nanoprene BM75 胎面胶的硫化特性和物理性能 (160 ℃×15 min)

| 项 目                                         | Nanoprene BM75 用量/份 |       |       |       |
|---------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|
|                                             | 0                   | 5     | 10    | 15    |
| 硫化仪数据                                       |                     |       |       |       |
| $M_L/(dN \cdot m)$                          | 2.76                | 3.62  | 4.04  | 4.66  |
| $M_H/(dN \cdot m)$                          | 21.28               | 19.55 | 19.93 | 20.04 |
| $t_{10}/min$                                | 2.30                | 2.65  | 2.87  | 2.95  |
| $t_{30}/min$                                | 3.30                | 3.65  | 3.75  | 3.78  |
| $t_{50}/min$                                | 3.83                | 4.22  | 4.33  | 4.37  |
| $t_{60}/min$                                | 4.13                | 4.52  | 4.65  | 4.68  |
| $t_{90}/min$                                | 6.65                | 6.87  | 7.32  | 7.22  |
| 门尼焦烧时间 $t_5(127\text{ }^\circ\text{C})/min$ | 25.12               | 27.67 | 26.57 | 26.83 |
| 邵尔 A 型硬度/度                                  | 67                  | 66    | 65    | 65    |
| 100%定伸应力/MPa                                | 2.39                | 2.39  | 2.44  | 2.54  |
| 200%定伸应力/MPa                                | 6.34                | 6.39  | 6.47  | 6.45  |
| 300%定伸应力/MPa                                | 11.08               | 11.21 | 11.59 | 11.82 |
| 拉伸强度/MPa                                    | 17.20               | 17.02 | 16.45 | 15.76 |
| 拉断伸长率/%                                     | 435                 | 434   | 425   | 389   |

3 结论

在实际生产应用中发现,SSBR、高分散白炭黑和合适的硅烷配合体系对轮胎滚动阻力的贡献最大。在等填料填充情况下,与传统炭黑填充 ESBR 胶料相比,白炭黑填充 SSBR 胶料可以显著降低轮胎的滚动阻力;新型硅烷偶联剂胶料比传统硅烷偶联剂胶料动态性能更好,采用新型硅烷偶联剂 Si363 和 NXT 可使轮胎滚动阻力降低 10%左右;新型纳米改性弹性体材料 Nanoprene BM75 可以降低 5%~8%的滚动阻力。上述材料配合使用可以达到降低轿车轮胎滚动阻力15%~20%的效果。

收稿日期:2014-02-21

Material Selection for the Tread of Low Rolling Resistance Passenger Car Tire

ZHANG Jian-jun<sup>1,2</sup>,REN Fu-jun<sup>2</sup>,DONG Xing-wang<sup>2</sup>

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China; 2. Zhongce Rubber Group, Ltd, Hangzhou 310008, China)

**Abstract:** The effects of solution polymerized butadiene styrene rubber(SSBR), silica, silane coupling agent and special elastomer Nanoprene BM75 on the performance of the tread compound for low rolling resistance passenger car tire were investigated. The results showed that the wet skid resistance was improved while the rolling resistance was reduced by using suitable SSBR to replace emulsion polymerized butadiene styrene rubber(ESBR), or using silica instead of carbon black. The dynamic pro-

property of modified SSBR was better than unmodified SSBR with the same microstructure. The dynamic property of the compound with new silane coupling agent was better than that of the compound with the traditional silane coupling agent. Use of special elastomer Nanoprene BM75 could decrease the rolling resistance effectively.

**Key words:** solution polymerized butadiene styrene rubber; silica; tread formulation; dynamic property; rolling resistance

## 蒂坦推出涵盖 LSW 轮胎的网站

中图分类号:TQ336.1;F27 文献标志码:D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com)2014 年 5 月 29 日报道:

蒂坦国际公司的子公司蒂坦轮胎公司推出了一个新网站 www.LSWadvantage.com(参见图 1),该网站可帮助轮胎客户了解低胎侧(LSW)技术的农业、建筑和矿山轮胎。

该网站包括 LSW 技术综述及其优势、技术开发背景、产品信息、如何购买合适轮胎的详细介绍以及从标准轮胎转换为 LSW 轮胎而受益的真实客户视频资料。

“推出 LSWadvantage.com 是我们近 20 年研究和产品开发的巅峰之作,”蒂坦国际销售和市场营销副总裁 Richard Rose 说,“我们将已经在汽车市场被证明成功的概念完善并应用于农业、建筑和采矿市场。目前它只是在 LSW 成为工程机械轮胎市场新标准之前对公众普及教育的一种方式。这就是我们创建 LSWadvantage.com 的目的——让轮胎拥有者看到事实。”

公司称,与同类标准轮胎相比,LSW 轮胎具有较大的轮辋直径和较低的胎侧,同时保持相同

的充气压力、负荷能力和轮胎外直径。LSW 的优点包括更平顺地行驶、更高的稳定性、更快的速度和更好的安全性。目前蒂坦和固特异农业轮胎是为工程机械市场提供 LSW 技术的仅有的品牌。

(吴淑华摘译 李静萍校)

## Oliver 推出驱动翻新轮胎

中图分类号:TQ336.1 文献标志码:D

美国《现代轮胎经销商》(www.moderntire-dealer.com)2014 年 5 月 13 日报道:

Oliver 橡胶公司推出用于驱动轮的翻新轮胎——Oliver Performance Drive(见图 1),适用于长途和区域运输。

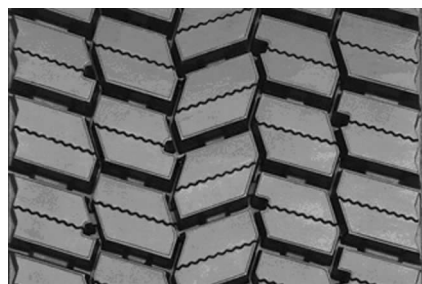


图 1 Oliver Performance Drive 系列轮胎胎面示意

Oliver 产品部经理 Philip Boarts 表示,Oliver Performance Drive 系列轮胎是公司最新的产品,设计有独特性能,可以帮助车队经营者控制轮胎总成本支出。该翻新轮胎在整个胎面使用寿命内具有高行驶里程和优异的牵引性能。

Oliver 专有的胎面胶料提供了优良的耐磨性能,同时深的全宽刀槽花纹和联锁花纹沟槽有助于排雨雪。Performance Drive 系列轮胎是为单轴和平衡悬架轴拖车设计的,花纹深度为 21 mm(26/32 英寸),目前有 5 种规格上市,分别为 210,220,230,240 和 250。所有 Oliver 翻新轮胎产品在全国范围内实行 1.6 mm(2/32 英寸)花纹深度保证。

(赵 敏摘译 吴秀兰校)



图 1 www.LSWadvantage.com 网站页面