

# 硬度和回弹性的协同效应对丁苯橡胶磨耗性能的影响规律研究

孙举涛<sup>1,2</sup>, 王 威<sup>1,2</sup>, 张 萍<sup>1,2</sup>, 赵树高<sup>1,2</sup>

(1. 青岛科技大学 橡塑材料与工程教育部重点实验室, 山东 青岛 266042; 2. 青岛科技大学 山东省橡塑材料与工程重点实验室, 山东 青岛 266042)

**摘要:**采用具有不同微观结构的丁苯橡胶(SBR)和具有不同硬度及回弹值的 SBR 配方体系,研究硬度与回弹值的协同作用对 SBR 硫化胶磨耗性能的影响规律。结果表明:当 SBR 的微观结构不同时,SBR 硫化胶的物理性能差别较大,但其阿克隆磨耗量与硬弹积[硬度( $H$ )的 4 次方与回弹值( $R$ )的乘积( $H^4R$ )]呈现较好的线性关系;对于同种 SBR,炭黑的用量及老化时间对硫化胶的阿克隆磨耗量的影响较大,但其阿克隆磨耗量与硬弹积也呈现较好的线性关系。

**关键词:**丁苯橡胶;硬度;回弹值;协同效应;磨耗性能

**中图分类号:**TQ333.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2012)06-0339-04

橡胶的磨耗是一个相当复杂的过程,它与橡胶本身的物理性能、滞后性能、弹性模量、疲劳性能和摩擦性能等都有密切关系<sup>[1-4]</sup>。K. A. Grosch 等<sup>[5]</sup>、A. N. Gent 等<sup>[6]</sup>和 N. Amino 等<sup>[7]</sup>分别建立了基于断裂能、摩擦功和滞后性能的磨耗性能预测公式,但这些公式都有一定局限性。硬度和回弹性是橡胶的两个基本物理性能指标,它们与橡胶的强度、弹性模量、动态性能等宏观性能以及相对分子质量、交联密度等微观结构都有密切关系,因此与橡胶的磨耗性能存在密切关系<sup>[8-10]</sup>。但前人的工作要么单独强调硬度的影响,要么单独强调回弹性的影响,而忽略了两者的协同效应对磨耗性能的影响,橡胶具有良好磨耗性能的原因应是这两者协同作用的结果。

本工作将硬度和回弹性结合起来,研究两者的协同作用对橡胶磨耗性能的影响规律,为在一定条件下预测橡胶制品的磨耗性能提供理论数据。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(51103077);山东省高等学校科技计划项目(J11LD07);山东省自然科学基金资助项目(ZR2011EMQ014)

**作者简介:**孙举涛(1977—),男,山东即墨人,青岛科技大学副教授,博士,主要从事橡胶配方设计和橡胶摩擦磨耗方面的研究工作。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

溶聚丁苯橡胶(SSBR),牌号 T2000R, T2003, T1534 和 T2530,中国石化上海高桥分公司产品;乳聚丁苯橡胶(ESBR),牌号 1502,中国石化齐鲁股份有限公司产品;炭黑 N330,青岛德固赛化学有限公司产品。

### 1.2 试验配方

SSBR(或 ESBR) 100,氧化锌 3,硬脂酸 1,硫黄 1.75,促进剂 NS 1,炭黑 N330 变量。

### 1.3 主要仪器

LX-A 型橡胶硬度计,上海险峰电影机械厂产品;GT-7012-A 型阿克隆磨耗机和 GT-7017-L 型老化恒温箱,中国台湾高铁科技股份有限公司产品;JC-1007 型橡胶冲击弹性试验机,精诚测试仪器(上海)有限公司产品。

### 1.4 试样制备

将 SBR 置于开炼机上,塑炼包辊后依次加入氧化锌、硬脂酸、促进剂等小料,待混合均匀后,加入炭黑,左右各割胶 3 次,混炼均匀后将辊距调至 1 mm,薄通 6 次下片,下片时间约 1 min。胶料在平板硫化机上硫化,硫化条件为 150 °C/15 MPa $\times t_{90}$ 。

## 1.5 性能测试

邵尔 A 型硬度和回弹值分别按 GB/T 531—2008《橡胶袖珍硬度计压入硬度试验方法》和 GB/T 1681—2009《硫化橡胶回弹性的测定》进行测试;阿克隆磨耗量按 GB/T 1689—1998《硫化橡胶耐磨性能的测定(用阿克隆磨耗机)》进行测试;热空气老化性能按 GB/T 3512—2001《硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验》进行测试,试验条件为  $100\text{ }^{\circ}\text{C}\times 24\text{ h}$  和  $100\text{ }^{\circ}\text{C}\times 48\text{ h}$ 。

## 2 结果与讨论

### 2.1 SBR 结构参数

几种 SBR 的结构参数如表 1 所示。SBR 和炭黑/SBR(炭黑用量为 50 份)硫化胶的物理性能

如表 2 所示。

从表 2 可以看出:SBR 硫化胶具有低邵尔 A 型硬度、高回弹值的特点;炭黑/SBR 硫化胶具有高邵尔 A 型硬度、低回弹值的特点。

SBR 和炭黑/SBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与

表 1 几种 SBR 的结构参数

项 目	ESBR	SSBR			
		T2000R	T2003	T1534	T2530
苯乙烯质量分数	0.235	0.264	0.255	0.170	0.250
嵌段苯乙烯质量分数	0	0.040	0.120	0	0
乙烯基质量分数	0.209	0.134	0.122	0.108	0.102
1,4-聚丁二烯质量分数					
顺式	0.102	0.340	0.359	0.380	0.373
反式	0.689	0.526	0.519	0.512	0.525
充油量/份	0	0	0	27.3	27.3

注:乙烯基和顺式及反式 1,4-聚丁二烯质量分数之和为 1。

表 2 SBR 和炭黑/SBR 硫化胶的物理性能

项 目	ESBR	SSBR				炭黑/ ESBR	炭黑/SSBR			
		T2000R	T2003	T1534	T2530		T2000R	T2003	T1534	T2530
邵尔 A 型硬度/度	47	46	55	36	41	63	67	75	61	64
回弹值/%	60	66	56	68	64	44	52	49	47	43
阿克隆磨耗量/ $\text{cm}^3$	1.96	1.97	0.41	3.66	2.53	0.26	0.23	0.16	0.28	0.27

硬弹积[硬度( $H$ )的 4 次方与回弹值( $R$ )的乘积( $H^4R$ )]的对数关系曲线分别如图 1 和 2 所示。

从图 1 和 2 可以看出,基体 SBR 的结构参数不同,SBR 和炭黑/SBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数的线性拟合相关系数分别为  $-0.983\ 12$  和  $-0.983\ 45$ ,都具有较好的线性关系。

### 2.2 炭黑用量

炭黑用量改变,炭黑/SBR 硫化胶的硬度和回弹值不同,阿克隆磨耗量也不同。以 SSBR

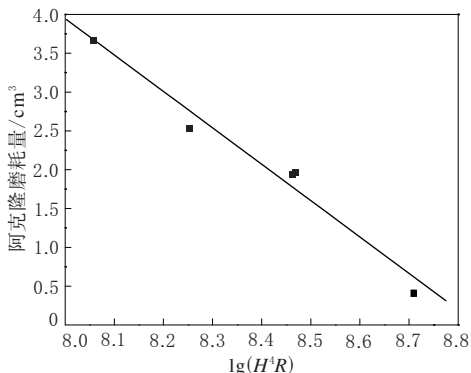


图 1 SBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线

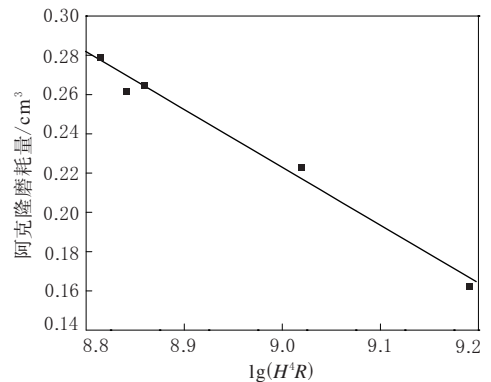


图 2 炭黑/SBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线

T2000R 和 ESR1502 为基础胶,研究炭黑用量分别为 10, 20, 30, 40, 50, 60 和 70 份时的效果。不同炭黑用量的炭黑/SSBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线如图 3 所示。

从图 3 可以看出,不同炭黑用量的炭黑/SSBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数具有较好的线性关系,线性拟合相关系数为  $-0.993\ 06$ 。

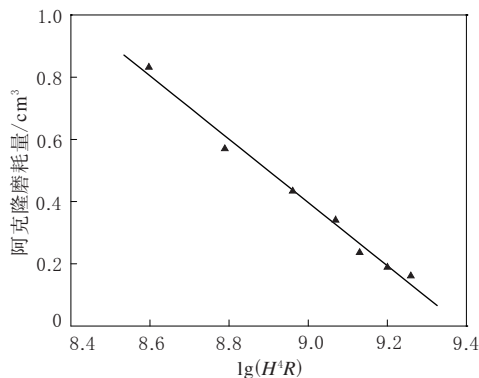


图 3 不同炭黑用量的炭黑/SSBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线

热空气老化对橡胶的硬度、回弹值也有影响。不同炭黑用量的炭黑/SSBR 硫化胶分别老化 24 和 48 h, 其阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线如图 4 所示。

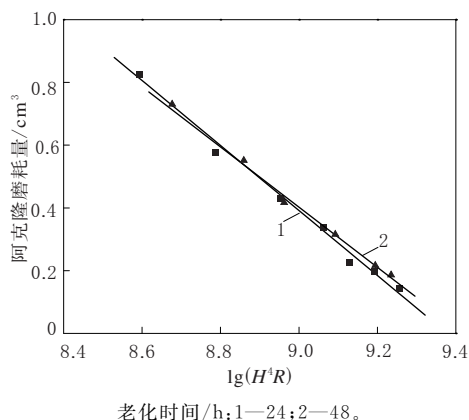


图 4 不同炭黑用量的炭黑/SSBR 硫化胶老化后的阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线

从图 4 可以看出, 炭黑/SSBR 硫化胶老化 24 和 48 h 后的阿克隆磨耗量与硬弹积对数也具有较好的线性关系, 线性拟合相关系数分别为  $-0.999\ 40$  和  $-0.995\ 22$ 。

炭黑用量对炭黑/ESBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线如图 5 所示。

从图 5 可以看出, 炭黑用量不同, 炭黑/ESBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数的线性关系较好, 线性拟合相关系数为  $-0.984\ 24$ 。

不同炭黑用量的炭黑/ESBR 硫化胶分别老化 24 和 48 h, 其阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线如图 6 所示。

从图 6 可以看出, 炭黑/ESBR 硫化胶老化 24

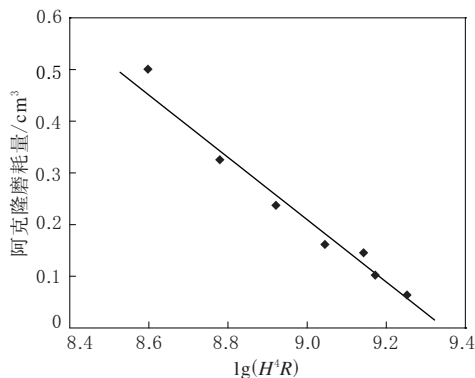
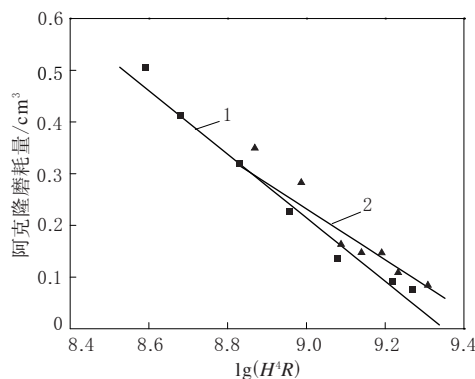


图 5 不同炭黑用量的炭黑/ESBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线



注同图 4。

图 6 不同炭黑用量的炭黑/ESBR 硫化胶老化后阿克隆磨耗量与硬弹积对数关系曲线

和 48 h 后的阿克隆磨耗体积与硬弹积的线性关系变差, 线性相关系数分别为  $-0.986\ 20$  和  $-0.941\ 87$ 。研究发现, 当炭黑用量为 70 份时, 硫化胶老化 24 和 48 h 后, 邵尔 A 型硬度大于 85 度。分析认为, 当硫化胶的硬度达到一定值后, 硬度对耐磨性能的贡献降低, 而回弹值对耐磨性能的贡献增大。因此, 硬弹积以  $H^1R$  的方式表征已不适用。硬度指数应小于 4, 或者回弹值指数应大于 1。

### 3 结论

(1) 基体 SBR 的结构参数不同, SBR 和炭黑/SBR 硫化胶的阿克隆磨耗量与硬弹积对数都具有较好的线性关系。

(2) 炭黑用量不同, 炭黑/SSBR 硫化胶老化前后的阿克隆磨耗量与硬弹积对数的线性关系均较好; 炭黑/ESBR 硫化胶老化前的阿克

隆磨耗量与硬弹积对数的线性关系较好,老化后较差。

### 参考文献:

- [1] Thavamani P, Bhowmick A K. Wear of Natural Rubber and Styrene Butadiene Rubber Vulcanizates at Elevated Temperature[J]. *Plastics Rubber and Composites Processing and Applications*, 1993, 20(4): 239-247.
- [2] Hong C H, Kim H, Ryu C, et al. Effects of Particle Size and Structure of Carbon Blacks on the Abrasion of Filled Elastomer Compounds[J]. *Journal of Materials Science*, 2007, 42(20): 8391-8399.
- [3] Fukahori Y, Liang H, Busfield J J C. Criteria for Crack Initiation During Rubber Abrasion[J]. *Wear*, 2008, 265(3/4): 387-395.
- [4] Rattanasom N, Chaikumpollert O. Crack Growth and Abrasion Resistance of Carbon Black-filled Purified Natural Rubber Vulcanizates[J]. *Journal of Applied Polymer Science*,

- 2003, 90(7): 1793-1796.
- [5] Grosch K A, Schallamach A. Relation between Abrasion and Strength of Rubber[J]. *Rubber Chemistry and Technology*, 1966, 39(2): 80-85.
- [6] Gent A N, Pulford C T R. Mechanisms of Rubber Abrasion[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1983, 28(3): 943-960.
- [7] Amino N, Uchiyama Y. Relationships between the Friction and Viscoelastic Properties of Rubber[J]. *Tire Science and Technology*, 2000, 28(3): 178-195.
- [8] Borik F. Wear Test for Rubber Wheel[J]. *Society of Automotive Engineers*, 1970, 79(4): 2145-2154.
- [9] Muhr A H, Roberts A D. Rubber Abrasion and Wear[J]. *Wear*, 1992, 158(1/2): 213-228.
- [10] Veith A G. A Review of Important Factors Affecting Treadwear[J]. *Rubber Chemistry and Technology*, 1992, 65(3): 601-658.

收稿日期: 2011-12-22

## Effects of Hardness and Resilience on Wear Resistance of SBR

SUN Ju-tao, WANG Wei, ZHANG Ping, ZHAO Shu-gao

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

**Abstract:** The synergistic effects of hardness and resilience on wear resistance of SBR with different microstructures and formula were investigated. The results showed that, when the microstructure of SBR was different, and the physical properties of SBR vulcanizates were different, the relationship between the Akron wear volume of SBR vulcanizate and the product of hardness and resilience ( $H^4R$ ) was linear. With different types of SBR, the Akron wear volume of SBR vulcanizate filled with different levels of carbon black and aged for different time also had good linear relationship with  $H^4R$ .

**Key words:** SBR; hardness; resilience; synergistic effect; wear resistance

### 硅胶自粘胶配方及制备方法

中图分类号: TQ333.93 文献标志码: D

由东莞市宏达新材料有限公司申请的专利(公开号 CN 101805520A, 公开日期 2010-08-18)“硅胶自粘胶配方及制备方法”, 涉及的硅橡胶自粘胶配方各组分及用量为: 甲基乙烯基硅橡胶(MVQ) 30~55, 甲基硅油 30~55, 白炭黑 10~20, 羟基硅油 1~8, 含氢硅油 0.3~0.8, 脱模剂 0.1~0.3。制备方法为: 按比例将 MVQ、羟基硅油、含氢硅油和脱模剂投入到真空

捏合机中捏合, 再把白炭黑分 2 次投入其中, 第 1 次投入的白炭黑成团后再进行第 2 次投入; 待所有原料成团后, 开氮气, 通蒸汽加热, 在 160~170 °C 的高温下恒温 1.5~2.5 h; 然后降温, 降温过程中按比例加入甲基硅油, 搅拌 1 h 左右, 降温至 60~80 °C 出料, 再用橡胶压滤机过滤, 待胶料冷却即可。该硅橡胶自粘胶具有粘性和抗拉性强、易加工且环保的特性, 可广泛应用于防滑产品等领域。

(本刊编辑部 马 晓)