

# 500 目铁粉填充天然橡胶的应用性能

徐春美, 尤兆鑫

(泰克国际(上海)技术橡胶有限公司, 上海 201600)

**摘要:** 研究了 500 目铁粉填充天然橡胶的应用性能, 结果表明随着 500 目铁粉在胶料中的填充量递增, 胶料的门尼黏度基本无变化, 硫化速度呈现稍微递增变快的趋势; 胶料的邵氏 A 型硬度和密度呈现递增趋势; 老化前后拉伸强度、拉断伸长率、直角型撕裂强度呈现递减趋势; 辊筒磨损体积值呈现增大趋势, 磨耗降低; 100% 定伸强度老化前后的数值不随 500 目铁粉的填充量变化而变化, 各配方数值基本一致, 300% 定伸强度老化前后的数值随 500 目铁粉填充量的增加呈略微下降的趋势; 整体来看在天然橡胶中大量填充 500 目铁粉后, 胶料的物理力学性能仍然比较好。

**关键词:** 500 目铁粉; 天然橡胶; 填充性能

**中图分类号:** TQ332

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-797X(2025)01-0041-05

**DOI:** 10.13520/j.cnki.rpte.2025.01.009

铁粉是粉末冶金工业的基础原料之一, 由于具有较大的比表面积及活性, 因而具有电、磁、光以及催化、吸附和化学反应性等特殊的性能, 主要用于制造机械零件、生产摩擦材料、减摩材料、超硬材料、磁性材料、润滑剂, 切割、发热材料、焊条等, 还广泛应用于化工、生物、医学、光学等领域<sup>[1]</sup>; 天然橡胶是橡胶工业中最常用、使用量最大胶种, 它具有很好的弹性、比较优异的物理力学性能, 广泛应用于轮胎、输送带、胶管等等各类橡胶制品中, 铁粉在天然橡胶中的应用报道还很少, 本文做了 500 目铁粉填充天然橡胶的常规流变性能、门尼黏度、物理力学性能、滚筒磨耗性能的基本研究, 天然橡胶本身的密度为 0.913 g/cm<sup>3</sup>, 密度比较小, 研究铁粉在天然橡胶中填充性能, 有助于开发具有高密度、较好物理机械性能的胶料。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

500 目铁粉, 莱芜市奥星粉末材料有限公司产品(如表 1); 天然橡胶 SVR3L, 越南产; 氧化锌, 潍坊奥龙锌业有限公司产品; N330 炭黑, 苏州宝化炭黑有限公司产品; 不溶性硫磺 HD OT-20, 无锡华盛新材料有限公司产品; 防老剂 4020、防老剂 RD, 山东尚舜化工有限公司产品; 促进剂 NS, 山东阳谷华泰化工股份有限公司产品、硬脂酸, 杭州赞宇油脂科技有限公司产品。

表 1 500 目的铁粉分析结果

化学分析 / %	检验结果 / %	物理性能	
C	0.030	松装密度 / (g·cm <sup>-3</sup> )	3.100
Mn	0.140	粒度分布 +500 目 / %	2.100
Si	0.050	粒度分布 -500 目 / %	97.900
P	0.010		
S	0.008		
氢损	0.230		
Fe	98.68		

### 1.2 试验配方

配比: 天然橡胶 SVR 3L 100.0, 氧化锌 5.0, 硬脂酸 1.0, N330 炭黑 30.0, 防老剂 4020 1.5, 防老剂 RD 1.5, 不溶性硫磺 HD OT-20 3.0, 促进剂 NS 1.0, 500 目铁粉: 变量(见表 2)。

表 2 500 目铁粉在各配方用量

配方号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>	5 <sup>#</sup>	6 <sup>#</sup>
500 目铁粉	0	30	60	90	120	150

### 1.3 试样制备

#### 1.3.1 胶料混炼

一段母炼胶: 除了 500 目铁粉和不溶性硫磺、促进剂之外, 其余按配比称量好的原材料在壁宏机械工业股份有限公司生产的 PHM-5 型小密炼机中混炼, 投料顺序为:

SVR3L 天然胶<sup>80℃</sup>、炭黑、活性剂、防老剂<sup>115℃</sup>提上顶栓清扫<sup>140℃</sup>排胶, 停放;

作者简介: 徐春美(1984-), 男, 学士, 主要从事橡胶配方及工艺工作。

终炼胶混炼：将一段混炼好的母炼胶平均分成 6 等份，按对应各配方的配比计算、称量 500 目铁粉、不溶性硫磺 HD OT-20 及促进剂 NS，一段母炼胶在无锡市后宅振新机械有限公司生产的 X(S)K-160 型小开炼机上热炼，胶料包辊热炼至无网眼状态，留一定量堆积胶，然后依次加入 500 目铁粉吃尽，适当调整小开炼机辊距，再加入不溶性硫磺 HD OT-20 和促进剂 NS 吃尽后，辊距调整至 1 mm，薄通打卷 4 次、薄通打三角包 4 次后，辊距放宽至 5 mm 出片停放、备用。

### 1.3.2 硫化工艺

混炼好的各配方胶料在无锡森纳精密机械设备厂生产的 SN-30TYJ/B 型试验平板硫化机上硫化，试验用各模具在 150 °C 条件下预热 30 min，然后硫化试样，物理力学性能测试用试片硫化按 150 °C × 11 min、10 MPa 进行硫化，辊筒磨耗试样按 150 °C × 15 min、10 MPa 进行硫化，硫化完成后，停放 24 h 后测试。

## 1.4 性能测试

### 1.4.1 硫化特性

使用高铁科技股份有限公司生产的 GT-M2000A 型无转子硫化仪，根据 GB/T 16584 测试。

### 1.4.2 拉伸性能

使用高铁科技股份有限公司生产的 A1-7000S 电子拉力机，根据 GB/T 528 测试，哑铃型试样，拉伸速率 500 mm/min。

### 1.4.3 邵尔 A 型硬度

使用江苏明珠试验机械有限公司生产的 LX-A 型橡胶硬度计，根据 GB/T 531.1 测试。

### 1.4.4 老化性能

使用江苏明珠试验机械有限公司生产的 401A 型老化箱，根据 GB/T 3512 测试。

### 1.4.5 辊筒磨耗

使用江苏明珠试验机械有限公司生产的 MZ-4060 型滚筒式磨耗机，根据 GB/T 9867 测试。

### 1.4.6 门尼黏度

使用采用高铁科技股份有限公司生产的 MV-3000-A 门尼黏度仪，根据 GB/T 1232.1 测试。

### 1.4.7 直角撕裂强度

使用高铁科技股份有限公司生产的 A1-7000S 电子拉力机，根据 GB/T 529 测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 硫变特性分析

各配方硫化仪测试数据如表 3 所示，硫化曲线如图 1 所示。硫化仪测试条件 150 °C × 15 min。

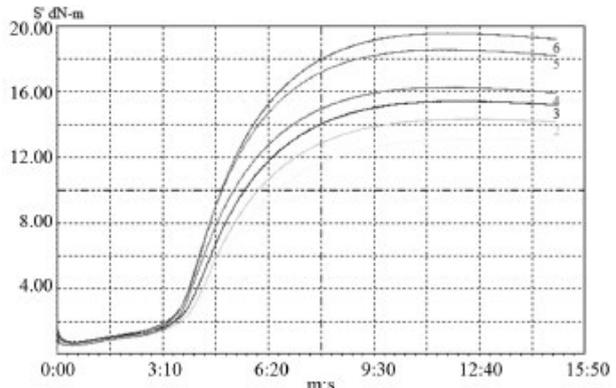


图 1 硫化曲线图

表 3 硫化仪数据

配方号	$M_L/dN \cdot m$	$M_H/dN \cdot m$	$t_{s2}/m:s$	$t_{c10}/m:s$	$t_{c90}/m:s$
1#	0.66	13.16	4:12	3:47	8:14
2#	0.71	14.35	4:06	3:44	8:02
3#	0.77	15.45	3:58	3:40	7:52
4#	0.55	16.28	3:47	3:34	7:39
5#	0.71	18.57	3:44	3:36	7:33
6#	0.76	19.58	3:45	3:38	7:41

通过图 1 和表 3 可以看出随着 500 目铁粉的用量递增，胶料的最小扭矩值  $M_L$  变化不大，最大扭矩值  $M_H$  整体逐渐递增，热硫化期的硫化曲线斜率逐渐增大；在 500 目铁粉从 0 份至 90 份时， $t_{s2}$ 、 $t_{c10}$ 、 $t_{c90}$  呈递减趋势；在 90 份至 150 份时， $t_{s2}$ 、 $t_{c10}$ 、 $t_{c90}$  基本没有变化，与 90 份时的硫化速度一致，整体硫化曲线及数据说明了 500 目铁粉具有一定的提高胶料硫化速度的作用。

### 2.2 门尼黏度比较

从表 4，图 2 中能够看出随着 500 目铁粉在配方中使用量的递增，门尼黏度值变化不大，门尼黏度的线性趋势线接近是一条水平线，说明了 500 目铁粉在配方中对胶料的门尼黏度影响基本没有，这也验证了与图 1 和表 3 中硫化曲线最小扭矩值数据一致性，胶料炼胶工艺性能比较好。

表 4 门尼黏度值  $M_L(1+4)100\text{ }^\circ\text{C}$

配方号	1#	2#	3#	4#	5#	6#
实测值	23.37	24.17	26.77	18.83	26.37	27.08

### 2.3 物理力学性能

### 2.4 物理力学性能分析

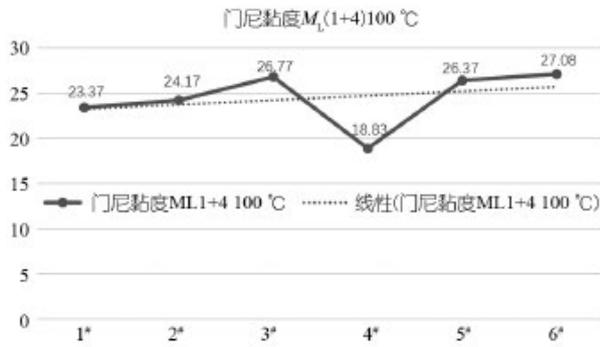


图 2 门尼黏度变化趋势图

### 2.4.1 各配方物理力学性能变化趋势

胶料邵氏 A 型硬度随 500 目铁粉填充量递增而逐步递增 (图 3), 密度随着 500 目铁粉填充量的递增也呈现出递增趋势 (图 4)。

拉伸强度老化前后、伸长率老化前后、直角型撕裂强度随着 500 目铁粉填充量的递增, 呈现出下降趋势; 拉伸强度和伸长率老化后变化率从图 5 和图 6 中可以看出, 老化后性能下降, 整体的性能下降趋势线与老化前的趋势线几乎平行, 说明 500 目铁粉在配方

表 5 物理力学性能

性能	1#	2#	3#	4#	5#	6#
<b>基本性能</b>						
密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1.07	1.26	1.42	1.60	1.74	1.91
硬度 / 邵 A	59	61	62	64	66	67
<b>力学性能</b>						
拉伸强度 / MPa	33.01	29.13	25.67	20.66	18.82	16.20
伸长率 / %	614	597	546	486	493	456
100% 定伸强度 / MPa	1.90	1.93	2.09	1.99	2.02	2.04
300% 定伸强度 / MPa	9.27	8.91	8.92	8.20	7.62	7.64
直角型撕裂强度 / $(\text{N}\cdot\text{mm}^{-1})$	74.12	61.49	50.81	48.29	42.52	36.26
<b>老化性能 (100 °C × 24 h)</b>						
硬度 / 邵 A	63	66	67	68	68	71
拉伸强度 / MPa	32.00	25.58	21.90	18.60	16.02	15.07
拉伸强度变化率 / %	-3.06	-12.19	-14.69	-9.97	-14.88	-6.98
伸长率 / %	527	465	429	391	362	348
伸长率变化率 / %	-14.17	-22.11	-21.43	-19.55	-26.57	-23.68
100% 定伸强度 / MPa	2.72	2.62	2.62	2.61	2.58	2.48
100% 定伸强度变化率 / %	+43.15	+35.75	+25.36	+31.16	+27.72	+21.57
300% 定伸强度 / MPa	13.64	12.87	12.81	12.21	11.91	11.48
300% 定伸强度变化率 / %	+47.14	+44.44	+43.61	+48.90	+56.30	+50.26
<b>磨损性能</b>						
滚筒磨损体积 / $\text{mm}^3$	171.82	190.26	214.26	226.26	258.32	261.27

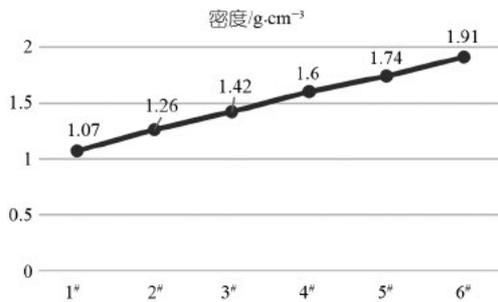


图 3 密度变化

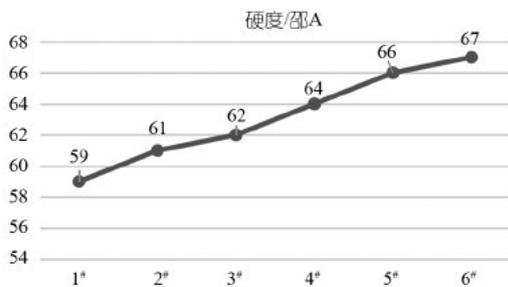


图 4 硬度变化

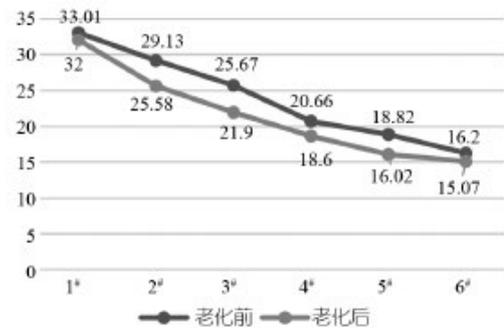


图 5 拉伸强度老化前后变化 / MPa

中随着填充量的增加, 没有明显的影响老化趋势的, 变化比较线性。

从图 7 可以看出 100% 定伸强度的值老化后整体稍微变大一点, 但老化前后的线性都成一条直线, 说明 500 目铁粉的填充量对胶料 100% 定伸强度值无影响; 300% 定伸强度随着 500 目铁粉的填充量的增加, 显现出稍微下降的趋势, 老化后的值整体变大, 300%

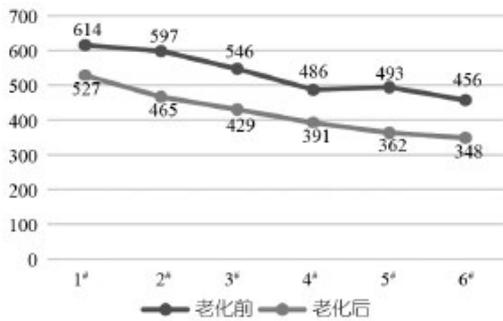


图 6 伸长率老化前后变化 /%

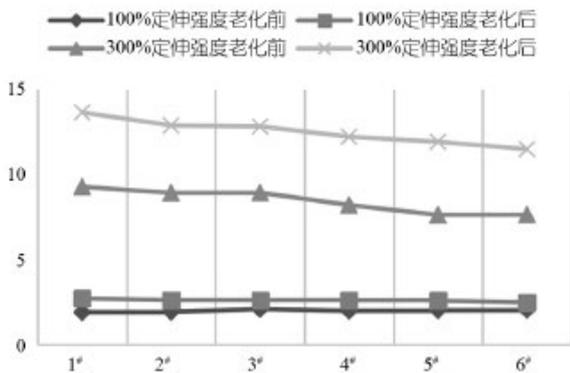


图 7 定伸强度老化前后变化 /MPa

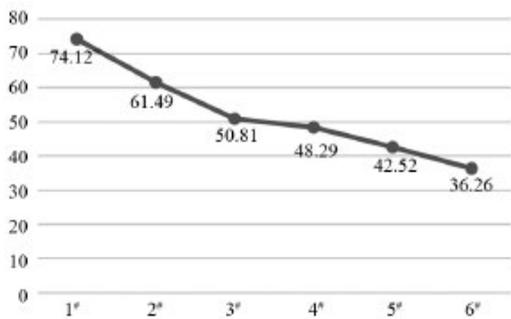


图 8 直角型撕裂强度老化前后变化 /N/mm

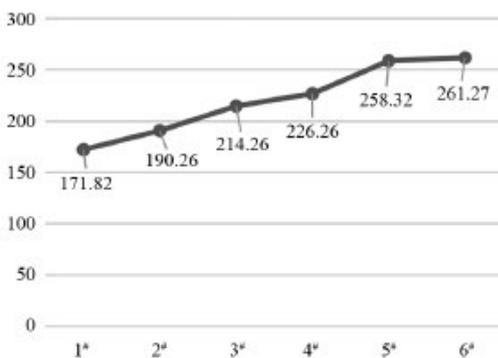


图 9 滚筒磨耗体积 /mm<sup>3</sup>

定伸强度的值老化前后变化趋势的线性基本一致，从

图 7 中可以看出随着 500 目铁粉填充量的增大，有一定的降低 300% 定伸强度的作用。

从图 8 中可以看出，直角型撕裂强度随着 500 目铁粉填充量的增加呈现线性下降趋势。

从图 9 中可以看出随着 500 目铁粉的填充量逐渐增大，滚筒磨耗体积量呈现逐渐增大趋势，胶料的耐磨性能逐渐下降。

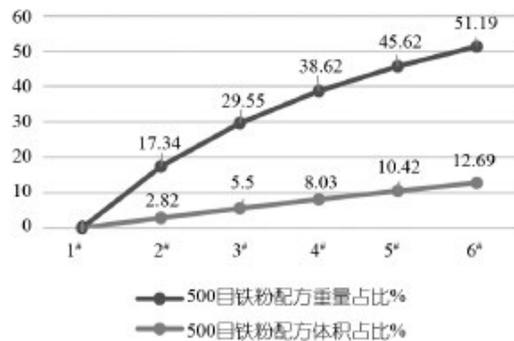


图 10 500 目铁粉在配方中的体积及质量占比 /%

整体来看，在大量填充了 500 目铁粉后，胶料的物理力学性能仍然比较好，具有应用价值，通过计算 500 目铁粉在配方中的质量占比和体积占比可以看出（图 8、表 6），随着 500 目铁粉在配方中的质量占比越来越高，但是体积占比并不是很高，这是由于 500 目铁粉密度比较大，本身在胶料中的体积占比比较小，保证了除了 500 目铁粉外的其它配方组分的体积占比仍然很高，仍然能够具有较高的硫化交联网络结构，这是具有较好物理性能的原因。

表 6 500 目铁粉在配方中的体积及质量占比 /%

	1#	2#	3#	4#	5#	6#
500 目铁粉配方重量占比 /%	0	17.34	29.55	38.62	45.62	51.19
500 目铁粉配方体积占比 /%	0	2.82	5.50	8.03	10.42	12.69

### 3 结论

在天然橡胶中大量填充 500 目铁粉后，胶料硫化速度稍微变快，门尼黏度基本不变，炼胶工艺过程比较好，胶料的密度增加比较明显，邵 A 型硬度递增，老化前后拉伸强度、拉断伸长率、直角型撕裂强度呈现递减趋势，胶料的滚筒磨耗性能下降。

整体来看，在天然橡胶中大量填充 500 目铁粉后，胶料的物理力学性能仍然比较好，具有应用价值，可以应用于制造高密度橡胶制品的胶料中。

