

不溶性硫磺 HD OT-20 的用量对镀锌钢丝绳黏合胶料性能的影响

徐春美

(泰克国际(上海)技术橡胶有限公司, 上海 201600)

摘要: 本文主要研究了不同用量的不溶性硫磺 HD OT-20 对镀锌钢丝绳黏合胶料性能的影响, 通过实验制备了不同用量的不溶性硫磺 HD OT-20 黏合胶料, 测试结果表明, 不溶性硫磺 HD OT-20 用量增加后, 胶料硫化仪测试数据中扭矩值 M_H-M_L 增加, t_{s2} 和 t_{c90} 缩短; 硫化胶在乙酸乙酯溶液中溶胀平衡后, 溶胀试样的橡胶相体积分率 V_r 逐步增大; 不溶性硫磺 HD OT-20 用量在 3.0 份时胶料的物理性能及钢丝绳抽出性能最佳。

关键词: 不溶性硫磺 HD OT-20 用量; 镀锌钢丝绳; 黏合胶料; 性能

引用论文: 徐春美. 不溶性硫磺 HD OT-20 的用量对镀锌钢丝绳黏合胶料性能的影响 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(7):40-44.

中图分类号: TQ330.38

文章编号: 1009-797X(2026)07-0040-04

文献标识码: B

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.07.009

钢丝绳芯输送带由上覆盖层、下覆盖层、钢丝绳芯和黏合胶层组成^[1] (如图 1 所示), 输送带钢丝绳一般由优质的高碳钢 (含碳量 0.7% 左右) 拉制而成, 钢丝绳表面需要镀锌或者镀铜, 以增大钢丝绳和橡胶之间的黏合力, 同时防止钢丝锈蚀, 目前工业上使用的输送带钢丝绳基本采用镀锌处理^[2]。钢丝绳黏合胶料通常用硫磺作为交联剂, 硫磺在钢丝绳黏合胶料中一方面与橡胶发生交联反应, 另一方面能够与钢丝绳表面的镀锌层发生反应形成硫化物, 使得橡胶与钢丝绳黏合在一起, 普通硫磺在胶料中易发生喷霜现象, 影响黏合效果, 不溶性硫磺在合理的炼胶工艺条件下不会发生喷霜现象, 本文研究了不同用量的不溶性硫磺 HD OT-20 对镀锌钢丝绳黏合胶料性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原材料

天然橡胶 SVR-3L, 越南产; SBR1502, 中国石油化工股份有限公司齐鲁分公司; 氧化锌, 潍坊奥龙锌业有限公司产品; N220 炭黑, 苏州宝化炭黑有限公司产品; 白炭黑, 福建新纳正盛新材料股份有限公司产品; 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, 中国尚舜化工控股有限公司; 防老剂 BLE, 江苏飞亚化学工业集团股份有限公司产品; 促进剂 CZ, 山东阳谷华泰化工股份有限公司产品;

硬脂酸, 东马棕榈工业(张家港)有限公司产品; 钴盐, 江阴市三良橡塑新材料有限公司; 黏合剂, 市售; 直径 4.2 mm 6×7-wsc 镀锌钢丝绳, 华勤钢丝绳有限公司产品。

1.2 主要设备和仪器

HX-8102-5 型小密炼机, 东莞鸿祥机械有限公司产品; XK-160 型开炼胶, 无锡市后宅振新机械有限公司; LX-A 型橡胶硬度计、MZ-5000D 拉力机, 江苏明珠试验机械有限公司产品; GT-M2000A 型无转子硫化仪、AI-7000S 电子拉力机, 高铁科技股份有限公司产品; SN-30TYJ/B 型试验平板硫化机, 无锡森纳精密机械设备厂产品; 钢丝绳抽出试样模具, 自制。

1.3 试验配方

表 1 不溶性硫磺 HD OT-20 不同用量 份						
配方号	1	2	3	4	5	6
HD OT-20	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5

天然橡胶 SVR-3L 30.0, SBR1502 70.0, 氧化锌 5.0, 硬脂酸 0.5, N220 炭黑 40.0, 钴盐 2.5, 防老剂 4020 1.0, 防老剂 BLE 2.3, 黏合剂 8.0, 促进剂 CZ 0.8, 如表 1, 不溶性硫磺 HD OT-20 变量。

作者简介: 徐春美 (1984-), 男, 学士, 工程师, 技术质量部经理, 主要从事橡胶配方、工艺及管理工作。

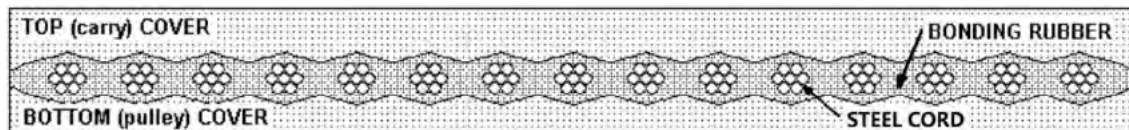


图1 钢丝绳芯输送带结构图

1.4 试样制备

1.4.1 胶料混炼

一段母炼胶：除了不溶性硫磺 HD OT-20、促进剂、部分黏合剂之外，其余按配比称量好的原材料在 HX-8102-5 型小密炼机中混炼，炼胶工艺为：

生胶 70 °C 炭黑、白炭黑、活性剂、防老剂、钴盐、部分粘合剂 115 °C 提上顶栓清扫 150 °C 排胶，停放；

密炼机中排出的一段母炼胶在 X(S)K-160 型小开炼机（辊距调至 6 mm）上翻炼打卷 5 次，出片停放；

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、称量不溶性硫磺 HD OT-20、促进剂 CZ、黏合剂；一段母炼胶在 X(S)K-160 型小开炼机上回炼，胶料包辊热炼至无网眼状态，留一定量堆积胶，然后加入不溶性硫磺 HD OT-20、促进剂 CZ 和部分黏合剂吃尽后，辊距调整至 1 mm，薄通打卷 4 次、打三角包 4 次后，辊距放宽至 6mm 出片停放、备用。

1.4.2 钢丝绳抽出试样制备

模具在平板硫化机中 150 °C 预热 30 min 后，在模具中放入未硫化的胶片和 6×7-wsc 镀锌钢丝绳，然后对准定位销合模后放入平板硫化机中硫化，所有配方的硫化条件都是 150 °C ×60 min，压力 12 MPa。试样长度 80 mm、宽度 50 mm、厚度 20 mm，钢丝绳间距 17 mm。（试样示意图如图 2 所示）

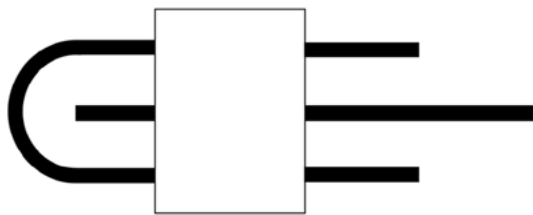


图2 钢丝绳抽出试样示意图

1.4.3 物理性能测试试样制备

混炼好的各配方胶料在 SN-30TYJ/B 型平板硫化机上硫化，模具在 150 °C 条件下预热 30 min，然后硫化试片，试片硫化条件为 150 °C ×40 min，压力 12 MPa。

1.5 性能测试

硫化特性，根据 GB/T 16584 测试；拉伸性能，根据 GB/T 528 测试；邵尔 A 型硬度根据 GB/T 531.1 测试；钢丝绳抽出，根据 GB/T 5755 测试。

1.6 溶胀法测定硫化胶 V_r

采用溶胀法，根据 Flory-Rehner 方程可以计算出硫化胶的交联密度，方程如下式：

$$v = -[\ln(1 - V_r) + V_r + \chi V_r^2] / [2(V_r^{1/3} - 0.5 V_r) \rho V_0]$$

其中， v 为硫化胶交联密度； V_r 为溶胀试样中橡胶烃的体积分数； V_0 为未溶胀试样中橡胶烃的体积分数； χ 为橡胶与溶剂的相互作用参数； ρ 为表示溶剂密度^[3]。

V_r 可以通过溶胀实验数据求得，对于含有填料的硫化胶：

$$V_r = [1 + (W_s/W_0 - 1) \rho_r / \rho_s \cdot a]^{-1}$$

其中， ρ_r 为橡胶的密度； ρ_s 为溶剂的密度； W_s 为试样溶胀后的质量； W_0 为试样溶胀前的质量； a 为配方中橡胶烃的质量分数^[4]。

由于本实验的配方是天然橡胶与丁苯橡胶并用， χ 值未知，无法计算交联密度，故采用 V_r 表征硫化程度

将各配方硫化胶试样剪成小块，在电子秤（精确至小数点后 4 位）上称量溶胀前的试样质量，然后在室温条件下把试样放入装有乙酸乙酯的各配方编号试管中，试样完全浸泡在乙酸乙酯溶液的液面以下，盖紧橡胶塞，室温溶胀 1 周，然后从试管中取出试样，用滤纸吸干溶胀试样表面的溶剂，用电子秤（精确至小数点后 4 位）在 10 s 内称取溶胀后的试样的质量，最后根据溶胀试样前后的测试数据计算硫化胶的橡胶烃体积分数 V_r 。

2 结果与分析

2.1 硫变特性分析

硫化仪测试数据如表 2 所示，硫化曲线见图 3，硫化仪测试条件 150 °C ×40 min。

通过表 2 和图 3 可以看出随着 HD OT-20 的用量递增，胶料的最小扭矩值 M_L 在 2.00 dN·m 左右波动

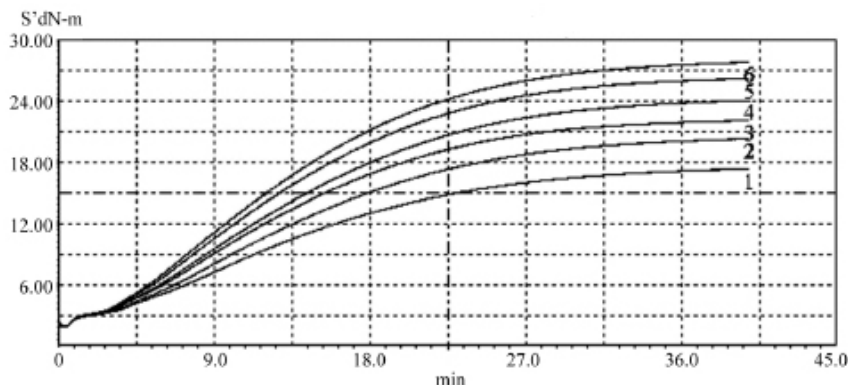


图3 硫化曲线

表2 硫化仪数据

HD OT-20 用量 / 份	M_L /dN·m	M_H /dN·m	M_H-M_L /dN·m	t_{s2} /(m:s)	t_{c90} /(m:s)
2.0	1.91	17.40	15.49	4:24	26:09
2.5	1.96	20.34	18.38	4:15	25:54
3.0	2.00	22.12	20.12	3:57	24:43
3.5	2.03	24.10	22.07	3:53	25:26
4.0	2.01	26.26	24.25	3:41	24:50
4.5	2.01	27.84	25.83	3:35	24:49

极小,处在同一水平位置,说明胶料在同样的混炼工艺条件下,随着 HD OT-20 的用量增加,对胶料在未硫化状态下的流动性和黏性几乎无影响;胶料最大扭矩值 M_H 随着 HD OT-20 的用量增加,从 17.40 dN·m 增至 27.84 dN·m, M_H-M_L 的差值从 15.49 dN·m 增至 25.83 dN·m,这是由于 HD OT-20 的用量的增大,胶料中分子链之间产生了更多的交联结构,交联点数量增加,分子链运动被束缚,胶料的模量和硬度也随之逐步提高,导致扭矩值增加。 t_{s2} 反映了胶料在加工过程中的安全性,即胶料开始硫化前可以进行操作的时间,时间越长,胶料的加工安全性越高,随着 HD OT-20 的用量递增, t_{s2} 逐步递减,从 4:24/(m:s) 减至 3:35/(m:s),硫化前的加工安全时间逐步缩短。正硫化时间 t_{c90} 随着 HD OT-20 的用量递增呈现缓慢缩短。

2.2 硫化胶 V_r

从图 4 中可以看出,随着 HD OT-20 用量的增加,硫化胶在达到溶胀平衡后橡胶烃的体积分数呈现了递增趋势。这是由于硫化胶在溶剂中溶胀时,溶剂分子会向硫化胶内部渗透,使硫化胶的体积增大,交联密度越大,硫化胶的网状结构就越紧密,耐溶剂性就越强,溶胀程度就越小,溶胀试样中橡胶烃体积分数就越高,这是因为交联结构限制了橡胶分子链在溶剂中的扩散和溶解;低交联密度的硫化胶容易被溶剂渗透,发生相对较大程度的溶胀,溶胀试样中橡胶烃体积分数就越低。溶胀试样橡胶烃的体积分数 V_r 与硫化胶的

交联密度密切相关,HD OT-20 从 2.0 份增至 4.5 份时,各配方硫化胶溶胀试样的橡胶烃体积分数递增,交联密度呈现递增趋势,这与 2.1 中硫化仪测试数据 M_H-M_L 的差值数据趋势的完全吻合。

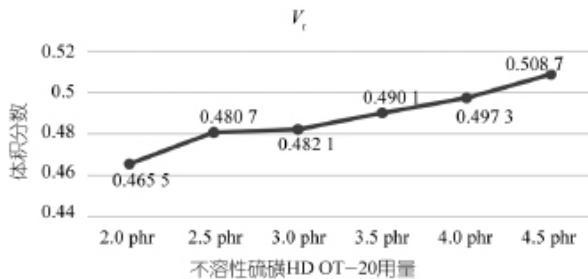


图4 硫化胶溶胀平衡后橡胶烃体积分数 V_r

2.3 物理性能

从表 3 的物理力学性能表中可以看出,随着 HD OT-20 用量的增加,胶料的邵氏 A 型硬度从 68 增长至 74,拉伸强度从 15.75 MPa 先增加至 19.37 MPa,然后再下降至 18.48 MPa;拉断伸长率从 592% 逐步的下降至 438%;100% 和 300% 定伸强度都随着 HD OT-20 的用量递增而递增。原因分析为:结合 2.1 和 2.2 中测试数据分析认为,当硫化胶的交联密度上升时,橡胶分子之间形成了更多的交联键,这些交联键将橡胶分子链连接成一个三维网络结构,在这个网络结构中,更多的分子链段被有效地整合到能够承受外力的体系中,交联键的增加意味着分子链间的束缚力增强,

分子链被交联键紧紧地连接在一起,这种强束缚力使得分子链在受到外力时更难以被拉开,这就导致硫化胶的硬度、定伸强度上升,拉断伸长率下降。拉断强度先快速增长后缓慢降低的原因是随着 HD OT-20 用量过量,会出现过度交联的情况,过度交联会使交联

网络变得过于紧密和僵硬,这种过度紧密的网络结构会导致橡胶分子链的柔顺性降低,在受到外力拉伸时,分子链不能有效地进行构象调整来分散应力。

2.4 钢丝绳抽出性能

表 3 物理性能

HD OT-20 用量 / 份	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
基本性能						
硬度 / 邵 A	68	70	71	73	73	74
力学性能						
拉伸强度 /MPa	15.75	18.88	19.37	19.25	18.44	18.48
拉断伸长率 /%	592.00	586.00	533.00	493.00	461.00	438.00
100% 定伸强度 /MPa	1.91	2.31	2.65	2.83	3.22	3.42
300% 定伸强度 /MPa	6.65	8.42	9.66	10.41	11.37	12.23

从表 4 可以看出,HD OT-20 从 2.0 份开始增加,在 3.0 份时钢丝绳抽出力达到最大值,钢丝绳抽出力先增大后减小的原因是:当 HD OT-20 用量增加时,硫化胶的交联密度增加,使得橡胶的拉断强度、硬度和定伸强度等性能得到提升,同时 HD OT-20 能够与镀锌钢丝绳镀锌层反应生成硫化锌,HD OT-20 用量的增加使得硫化锌的生成量增大,增强了橡胶与钢丝绳之间的附着力,提高了钢丝绳的黏合抽出力。当

HD OT-20 用量继续增加,钢丝绳抽出力呈现出下降趋势原因是:当 HD OT-20 用量超过一定限度时,会导致橡胶过度交联,过度交联会使橡胶分子链变得僵硬,失去弹性,僵硬的橡胶与钢丝绳之间的结合力减弱,因为它不能很好地适应钢丝绳在受力过程中的变形,从而导致黏合抽出力下降。过度交联还会使橡胶内部产生较大的内应力,这些内应力会在橡胶与钢丝绳的界面处集中,削弱了两者之间的结合力。

表 4 钢丝绳抽出性能

HD OT-20 用量 / 份	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
钢丝绳抽出力 /N·mm ⁻¹	144.91	160.38	162.02	152.43	139.08	142.21
钢丝绳表面附胶率 /%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

3 结论

随着不溶性硫磺 HD OT-20 的用量增大,黏合胶料的扭矩值 M_H-M_L 差值增大, t_{s2} 和 t_{c90} 缩短;硫化胶溶胀平衡后橡胶烃体积分数 V_r 呈现递增趋势。在不溶性硫磺 HD OT-20 用量为 3.0 份时,黏合胶料的综合物理性能最佳。

参考文献:

[1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 普通用途钢丝绳

芯输送带:GB/T 9770-2013[S]. 2013.

- [2] 赵之朋,俞正洲,郭虎,等. 黏合树脂在阻燃钢丝绳芯输送带胶料中的应用[J]. 橡胶科技, 2022,20(12):599-602.
- [3] Boochathum P, Prajudtake W. Vulcanization of cis- and trans-polyisoprene and their blends: Cure characteristics and crosslink distribution[J].European Polymer Journal, 2001, 37(3):417-427.
- [4] 刘亚东,张新惠. 硫化胶交联密度自动快速测定方法[J]. 化工学报, 1982,(04):377-382.

The impact of the dosage of insoluble sulfur HD OT-20 on the performance of the adhesive rubber compound for galvanized steel wire ropes

Xu Chunmei

(Tech International (Shanghai) Technical Rubber Co. LTD., Shanghai 201600, China)

Abstract: This article primarily investigates the impact of varying amounts of insoluble sulfur HD OT-20 on

(R-03)

Sailun Group | Blackhawk Tires debut at Cambodian national-level ceremony

(R-03)

