

环氧化天然橡胶改性淀粉/天然橡胶 复合材料性能的研究

李 键¹, 刘 芳¹, 艾军伟¹, 曾宗强², 朱立新^{1*}, 贾德民¹

(1. 华南理工大学 材料科学与工程学院, 广东 广州 510640; 2. 中国热带农业科学院农产品加工研究所 农业部热带作物产品加工重点开放实验室, 广东 湛江 524001)

摘要:采用环氧化度适中的环氧化天然橡胶(ENR-25)改性淀粉/NR 复合材料, 并对其性能进行研究。结果表明: 添加 ENR-25 可以显著提高改性淀粉/NR 复合材料的物理性能和耐磨性能, 降低淀粉/NR 复合材料作为胎面胶时的滚动阻力, 改善抗湿滑性能; 当 ENR-25 用量为 5 份时, 复合材料的综合性能较好。

关键词:天然橡胶; 环氧化天然橡胶; 淀粉; 复合材料

中图分类号: TQ332.9; TQ332.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-890X(2013)03-0133-07

环氧化天然橡胶(ENR)是由天然橡胶(NR)主链中部分双键被环氧化的产物, 其主链中的极性环氧基团能与无机填料或极性聚合物产生较强的结合, 非极性 NR 链段与非极性橡胶具有较好的相容性, 并可与 NR 共硫化形成共交联体系, 因此, ENR 是 NR 复合材料的良好界面改性剂。当 ENR 环氧化程度低时, 其各项性能均与 NR 相似; 但随着 ENR 环氧化程度的提高, 其就会逐渐失去橡胶弹性。环氧化度适中的 ENR-25 作为轮胎材料能保持较低的滚动阻力和较好的抗湿滑性能^[1-3]。

本工作以 ENR-25 为界面改性剂, 研究其对淀粉/NR 复合材料结构与性能的影响。

1 实验

1.1 主要原材料

ENR-25, 中国热带农业科学院农产品加工研究所产品; NR, 牌号 RSS3[#], 泰国产品; 玉米淀粉, 食品级, 河北昌黎县淀粉厂产品。

1.2 试验配方

NR/ENR-25 100, 淀粉 30, 氧化锌 5, 硬

脂酸 1, 防老剂 RD 1, 防老剂 4010NA 1, 硫黄 1.4, 促进剂 CZ 1.7, 促进剂 D 2。其中 ENR-25/NR 并用比分别为 0/100, 2.5/97.5, 5/95, 7.5/92.5 和 10/90, 配方编号分别为 E1, E2, E3, E4 和 E5。

1.3 试验设备和仪器

UR2030 型无转子硫化仪, 中国台湾优肯科技股份有限公司产品; VISCO-ELASTOGRAPH 型橡胶加工分析仪, 德国高特福公司产品; DMA 242C 型动态力学分析仪, 德国耐驰公司产品; LX-A 型硬度计, 上海六菱仪器厂产品; UT-2080 型电子拉伸试验机、UD-3801 型压缩疲劳生热试验机和 UA-207 1B 型老化试验箱, 中国台湾优肯科技股份有限公司产品; GT-7012-A 型阿克隆磨耗试验机, 中国台湾高铁检测仪器有限公司产品; Q20 型差示扫描热量(DSC)仪, 美国 TA 公司产品; Rigaku-D/Max III 型 X 射线衍射(XRD)仪, 日本理学株式会社产品; LEO 1530VP 型场发射扫描电镜(SEM), 德国 LEO 公司产品。

1.4 试样制备

先将淀粉置于气流磨中粉碎减小粒径, 然后干燥备用。将 NR 置于开炼机上塑炼, 包辊后加入淀粉和 ENR-25 进行混炼, 混炼均匀后依次加入各种配合剂, 薄通、出片。采用硫化仪测定 145℃下正硫化时间(t_{90}), 胶料在 25 t 平板硫化机上

基金项目:农业部热带作物产品加工重点开放实验室开放基金资助项目(rzdkf2009-16)

作者简介:李键(1986—), 男, 河南信阳人, 华南理工大学在读硕士研究生, 主要从事高性能橡塑材料的研究。

* 通信联系人

硫化,硫化条件为 $145\text{ }^{\circ}\text{C} \times t_{90}$ 。

1.5 测试分析

1.5.1 硫化特性

硫化特性按 GB/T 9869—1996《橡胶胶料硫化特性的测定(圆盘振荡硫化仪法)》进行测试,试验温度为 $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.5.2 动态力学性能

混炼胶的动态力学性能采用橡胶加工分析仪进行测试,试验条件为:温度 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$,频率 1 Hz ,应变范围 $0.7\% \sim 210\%$ 。

复合材料的动态力学性能采用动态力学分析仪进行测试,试验条件为:温度范围 $-100 \sim +80\text{ }^{\circ}\text{C}$,升温速率 $3\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$,频率 5 Hz 。

1.5.3 物理性能

邵尔 A 型硬度按 GB/T 531—2008《橡胶袖珍硬度计压入硬度试验方法》进行测试;拉伸性能和撕裂强度采用电子拉力机分别按 GB/T 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应力应变性能的测定》和 GB/T 529—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶撕裂强度的测定(裤形、直角形和新月形试样)》进行测试,撕裂强度测定采用直角形试样;压缩永久变形按 GB/T 7759—1996《硫化橡胶、热塑性橡胶 常温、高温和低温下压缩永久变形测定》进行测试(B 型限制器),试验条件为 $70\text{ }^{\circ}\text{C} \times 22\text{ h}$,压缩率为 25% 。

1.5.4 热空气老化性能

热空气老化性能采用老化试验箱按 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 $100\text{ }^{\circ}\text{C} \times 48\text{ h}$ 。

1.5.5 压缩疲劳生热

压缩疲劳生热采用压缩疲劳生热试验机按 GB/T 1687—1993《硫化橡胶在屈挠试验中温升和耐疲劳性能的测定 第2部分:压缩屈挠试验》进行测试,试验条件为:模腔温度 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$,冲程 4.45 mm ,静载荷 110 N ,压缩频率 30 Hz 。

1.5.6 耐磨性能

耐磨性能采用阿克隆磨耗试验机按 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,测试 3 次取平均值。

1.5.7 DSC 分析

复合材料的 DSC 曲线采用 DSC 仪进行测试,试验条件为:温度范围 室温 $\sim 160\text{ }^{\circ}\text{C}$,升温速率 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$,氮气气氛。

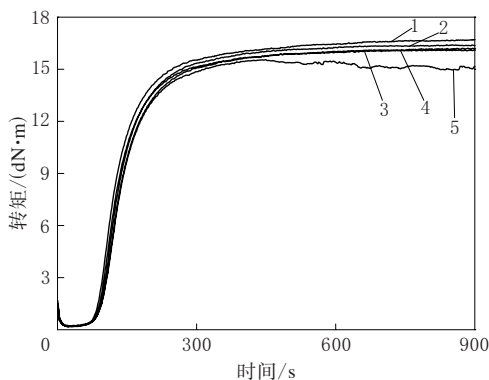
1.5.8 XRD 分析

复合材料的 XRD 曲线采用 XRD 仪进行测试,试验条件为:CuK α 射线源,波长 0.154 nm ,工作电压 40 kV ,工作电流 30 mA ,扫描速率 $5\text{ }(^{\circ}) \cdot \text{min}^{-1}$,扫描范围 $2^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。

2 结果与讨论

2.1 硫化特性

ENR-25 改性淀粉/NR 胶料的硫化曲线如图 1 所示。



配方编号:1—E1;2—E2;3—E3;4—E4;5—E5。

图 1 ENR-25 改性淀粉/NR 胶料的硫化曲线

从图 1 可以看出:在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,淀粉/NR 胶料的焦烧时间呈现延长的趋势,正硫化时间延长,转矩减小;当 ENR-25 用量为 10 份时,胶料出现轻微的硫化返原现象。这表明 ENR-25 的硫化活性较 NR 低,ENR-25 的相对分子质量也较 NR 小。

2.2 物理性能

表 1 所示为 ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料的物理性能和耐热老化性能。

从表 1 可以看出,在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,复合材料的拉伸强度、拉断伸长率和撕裂强度总体呈增大趋势,当 ENR-25 用量为 5 和 7.5 份时,撕裂强

表 1 ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料的物理性能和耐热老化性能

项 目	配方编号				
	E1	E2	E3	E4	E5
邵尔 A 型硬度/度	49	47	48	48	47
300%定伸应力/MPa	2.2	2.1	2.3	2.3	2.2
拉伸强度/MPa	19.4	20.2	20.9	20.7	19.7
拉断伸长率/%	623	635	626	630	642
拉断永久变形/%	16	16	15	16	16
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	22	23	24	24	23
压缩永久变形/%	18	16	16	16	18
热空气老化后					
邵尔 A 型硬度					
变化/度	+6	+5	+4	+3	+2
拉伸强度变化率/%	-0.5	-3.9	-16.8	-18.9	-19.8
拉断伸长率					
变化率/%	-18.8	-17.5	-11.8	-11.1	-10.7

度达到最大值;当 ENR-25 用量为 5 份时,复合材料的综合性能较好。

分析认为,ENR-25 主链上的环氧基在加热情况下能与淀粉表面羟基发生开环反应形成化学键结合,ENR-25 分子链上的双键还与 NR 分子链之间产生共硫化,形成共硫化网络,因此 ENR-25 起界面改性剂的作用,有效促进淀粉在 NR 基体中分散,提高淀粉/NR 复合材料的物理性能。ENR-25 的用量越大,越多的环氧基与淀粉表面的羟基成键,界面结合越强,复合材料的物理性能越好。但当 ENR-25 用量大于 7.5 份时,ENR-25 在淀粉表面的分布趋于饱和。此外,由于 ENR-25 的强度不如 NR,其用量较大时就会对复合材料的物理性能产生不利影响。

从表 1 还可以看出,在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,老化后复合材料的邵尔 A 型硬度和拉断伸长率变化率变化幅度减小,拉伸强度变化幅度增大。

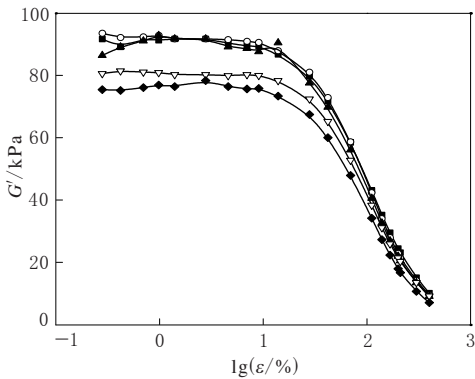
2.3 动态力学性能

2.3.1 混炼胶

ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶的应变扫描曲线如图 2 所示。

从图 2 可以看出:当应变(ϵ)较小时,随着 ϵ 的增大,ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶的剪切储能模量(G')基本无变化;当 ϵ 较大时,随着 ϵ 的增大, G' 呈急剧下降的趋势,表现出明显的 Payne 效应。当 ENR-25 用量小于 5 份时,混炼胶的 G' -

ϵ 曲线基本重合;在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,混炼胶的 G' 减小,Payne 效应减弱。这表明 ENR-25 中极性环氧基团在促进剂的催化作用下与淀粉表面羟基发生了相互作用,减弱了淀粉之间的聚集作用,使淀粉在橡胶中的分散性变好。



配方编号: ■—E1; ○—E2; ▲—E3; ▽—E4; ◆—E5。

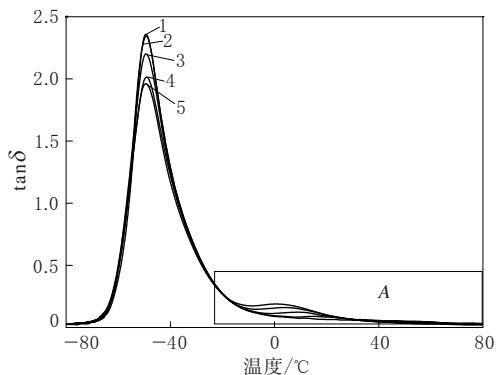
图 2 ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶的 G' -lg ϵ 曲线

2.3.2 复合材料

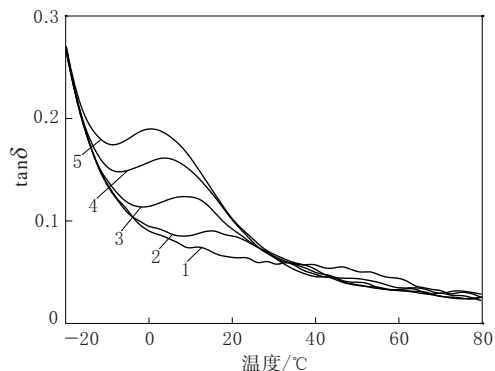
通常用橡胶在 0 和 60 ℃ 下的损耗因子 ($\tan\delta$) 分别表征轮胎胎面胶的抗湿滑性能和滚动阻力。0 ℃ 下的 $\tan\delta$ 值越大,抗湿滑性能越好;60 ℃ 下的 $\tan\delta$ 值越小,滚动阻力越小^[4]。ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料的温度扫描曲线如图 3 所示。

从图 3 可以看出,在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,复合材料在 0 ℃ 下的 $\tan\delta$ 值增大,60 ℃ 下的 $\tan\delta$ 值减小。这表明 ENR-25 的加入在提高淀粉/NR 复合材料抗湿滑性能的同时也降低了其滚动阻力。分析认为:60 ℃ 下的 $\tan\delta$ 值的减小归因于 ENR-25 使淀粉-橡胶间的界面结合力增强;0 ℃ 下的 $\tan\delta$ 值增大主要是因为 ENR-25 的玻璃化温度远高于 NR。

从图 3 还可以看出,在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,复合材料的玻璃化温度基本不变,但玻璃化转变区的 $\tan\delta$ 值明显减小,这也说明 ENR-25 的加入提高了体系的界面结合强度。此外,复合材料的 $\tan\delta$ -温度曲线逐渐分离出两个玻璃化转变峰,且峰强



(a) 全图



(b) (a)中A处的放大图

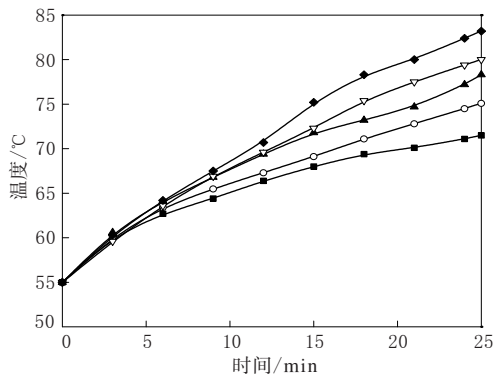
注同图1。

图3 ENR-25改性淀粉/NR复合材料的
tanδ-温度曲线

度越来越大,这是由于 ENR-25 与 NR 不完全相容所致。

2.4 压缩疲劳生热

ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料的压缩疲劳生热曲线如图4所示。



注同图2。

图4 ENR-25改性淀粉/NR复合材料的
压缩疲劳生热曲线

从图4可以看出,在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,复合材料的压缩疲劳生热速率逐渐增大,压缩疲劳温升也增大,表明 ENR-25 的加入降低了淀粉/NR 复合材料的压缩疲劳生热性能。

2.5 耐磨性能

ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料的阿克隆磨耗量如图5所示。

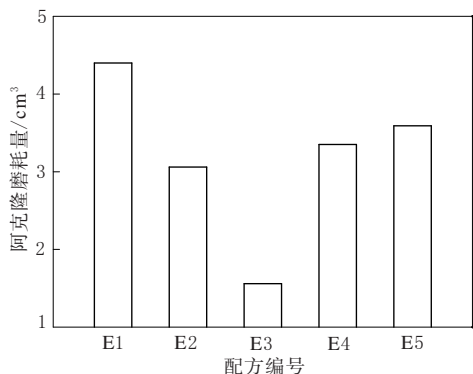


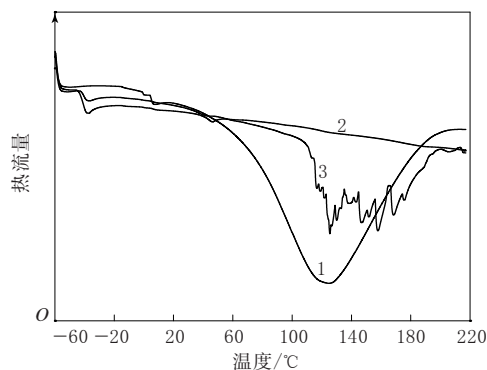
图5 ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料的
阿克隆磨耗量

从图5可以看出:在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,复合材料的阿克隆磨耗量呈现不同程度的减小;当 ENR-25 用量为 5 份时,复合材料的阿克隆磨耗量最小,其值仅为淀粉/NR 复合材料的 35%,耐磨性能最好。分析认为,ENR-25 自身的耐磨性能较好,适量的 ENR-25 的加入也改善了淀粉颗粒的分散性,增强了淀粉与 NR 基体的相互作用,提高了耐磨性能。

2.6 DSC 分析

淀粉、ENR-25 和 ENR-25 改性淀粉的 DSC 曲线如图6所示。

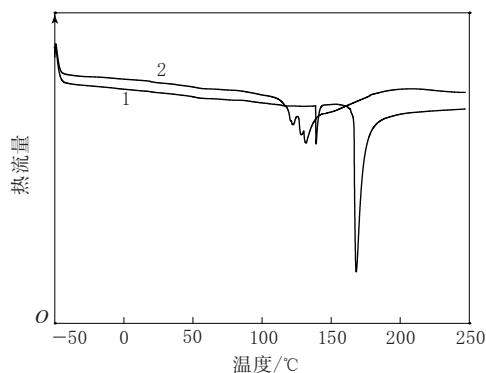
从图6可以看出:淀粉在升温过程中出现一个较大的吸热峰,峰值温度为 124.8 °C,这是由于水分与淀粉分子链间形成了一种链水结晶所致;ENR-25在升温过程中基本没有发生什么变化,只是在 -37.2 °C 处存在玻璃化转变峰;ENR-25 改性淀粉在 110~170 °C 之间存在一系列弱化的吸热峰,该峰强度比淀粉显著减弱,这表明了 ENR-25 改性淀粉中的结晶以及链水结晶均被破坏。



1—淀粉;2—ENR-25;3—ENR-25 改性淀粉。

图6 淀粉、ENR-25 和 ENR-25 改性淀粉的 DSC 曲线

图7所示为淀粉/NR 和 ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶的 DSC 曲线。



1—淀粉/NR;2—ENR-25 改性淀粉/NR。

图7 淀粉/NR 和 ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶的 DSC 曲线

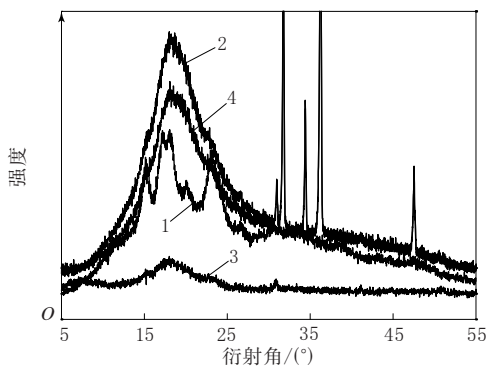
从图7可以看出,淀粉/NR 混炼胶在139.2 和168.2 °C处分别存在两个尖锐的吸热峰,ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶在110~140 °C间存在一系列弱化的吸热峰。可以认为这些峰应由4种不同机理的反应产生:ENR-25 与淀粉反应、淀粉链水结晶熔融、ENR-25 与 NR 共硫化和 NR 的硫化,而淀粉结晶熔融吸热量大于其他反应的放热量,因此其 DSC 曲线上呈现吸热峰。

淀粉/NR 混炼胶最大的吸热峰存在于168.2 °C处,说明在约60 °C的混炼温度和145 °C的硫化温度条件下,淀粉结晶结构不能被破坏,淀粉结晶仍然存在于 NR 中,使复合材料性能下降;而在 ENR-25/淀粉/NR 混炼胶中,ENR-25 与淀粉间的相互作用使淀粉在 NR 中的结晶熔融温度向低温方向移动,因此在上述混炼温度和硫化温度下

足以破坏淀粉结晶,并能与淀粉发生反应,也能与 NR 共硫化,使淀粉在橡胶中的分散更均匀,界面结合增强。

2.7 XRD 分析

淀粉、淀粉/NR 复合材料、ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶和复合材料的 XRD 曲线如图8所示。



1—淀粉;2—淀粉/NR 复合材料;3—ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶(145 °C密炼机);4—ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料。

图8 淀粉、淀粉/NR 复合材料、ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶和复合材料的 XRD 曲线

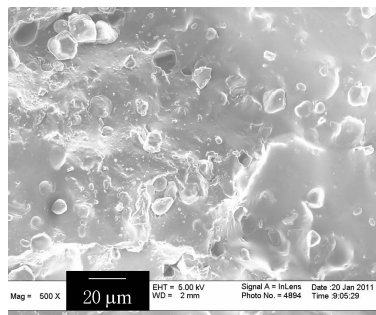
从图8可以看出:淀粉中存在明显的结晶;由于无定形聚合物 NR 的加入,淀粉尖锐的衍射峰变成馒头峰,但其中淀粉结晶所产生的衍射峰依然存在,峰的位置也没有发生变化;ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料的衍射峰仍为馒头峰,但更为平缓,表明淀粉的结晶部分已经消失;ENR-25 改性淀粉/NR 混炼胶衍射峰曲线非常平缓,说明淀粉的结晶完全消失。

一般开炼机的混炼温度在60 °C左右,硫化温度为145 °C,因此不会造成淀粉/NR 复合材料中淀粉晶型和结晶度的变化。因此可以得出结论:在一定的温度和强剪切力作用下,ENR-25 的环氧基与淀粉的羟基发生了开环反应,破坏了淀粉的结晶结构。

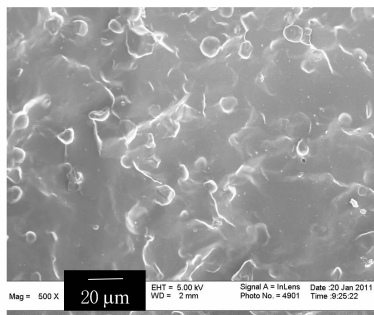
2.8 微观结构

ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料的 SEM 照片如图9所示。

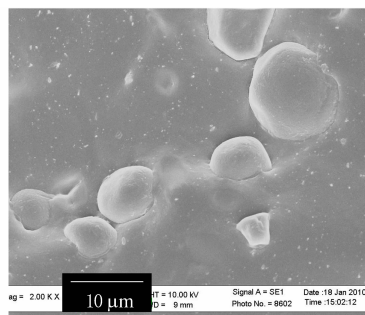
从图9(a)和(c)可以看出,未改性淀粉/NR 复合材料中淀粉颗粒呈圆形或多边形,颗粒表面结构紧密,棱角分明,与NR基体之间的界面清



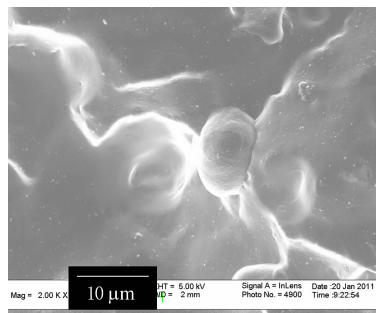
(a)E1(放大 500 倍)



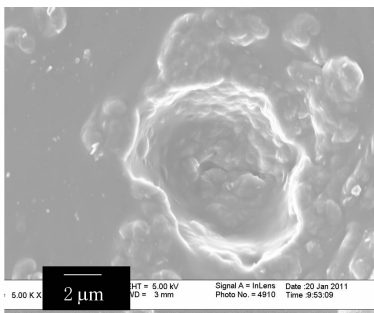
(b)E4(放大 500 倍)



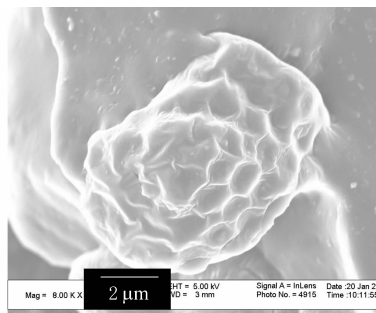
(c)E1(放大 2 000 倍)



(d)E4(放大 2 000 倍)



(e)E4(放大 5 000 倍)



(f)E4(放大 8 000 倍)

图9 ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料的 SEM 照片

晰,出现了较明显的聚集,淀粉颗粒在 NR 基体中的分散性较差,表明淀粉与 NR 间的相容性较差、结合力较弱。从图 9(b)和(d)可以看出,ENR-25 改性淀粉/NR 复合材料中淀粉颗粒在 NR 中分布比较均匀,淀粉的分散得到了明显改善,淀粉颗粒表面被一层橡胶薄膜附着[图 9(e)和(f)],与基体结合良好,表明 ENR-25 促进了淀粉在 NR 中的分散。可以证明 ENR-25 起到了界面改性剂的作用。

3 结论

(1)添加 ENR-25 可改善淀粉在 NR 基体中的分散性,ENR-25 与 NR 不完全相容,复合材料存在两个玻璃化温度。在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,复合材料在 0℃下的 $\tan\delta$ 值增大,60℃下的 $\tan\delta$ 值减小,复合材料抗湿滑性能提高,滚动阻力降低。

(2)在 ENR-25 和 NR 总量不变的前提下,随着 ENR-25 用量的增大,复合材料的拉伸强度、拉伸伸长率和撕裂强度呈增大趋势,当 ENR-25 用量为 5 和 7.5 份时,撕裂强度达到最大值,当

ENR-25 用量为 5 份时,复合材料的综合性能最佳。

(3)添加 ENR-25 的淀粉/NR 复合材料的压缩疲劳生热性能降低,但耐磨性能提高。

(4)ENR-25 在淀粉颗粒表面形成一层薄膜包覆,增强了淀粉与 NR 基体之间的界面结合,改善了填料的分散性。在普通加工条件下,ENR-25 的加入可破坏淀粉的结晶结构,ENR-25 的环氧基通过开环反应与淀粉表面的羟基产生化学结合,并与 NR 共硫化,提高复合材料的物理性能。

参考文献:

- [1] 何兰珍,杨丹. 环氧化天然橡胶的研究与应用[J]. 弹性体, 2005,15(5):60-65.
- [2] Hashim A S,Kohjiya S. Preparation and Properties of Epoxidized Natural Rubber[J]. Kautschuk Gummi Kunststoffe, 1993,46(1):293-301.
- [3] 杨磊,陈静. 环氧化天然橡胶的特性与应用[J]. 中国橡胶, 2000(16):14-17.
- [4] Sheehan C J,Bisio A L. Polymer-Solvent Interaction Parameters[J]. Rubber Chemistry and Technology, 1966, 39(1): 149-192.

Property of Starch/NR Composite Modified by ENR

LI Jian¹, LIU Fang¹, AI Jun-wei¹, ZENG Zong-qiang², ZHU Li-xin¹, JIA De-min¹

(1. South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Agricultural Product Processing Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agriculture Science, Zhanjiang 524001, China)

Abstract: Starch/NR composites were modified by epoxidized natural rubber with moderate epoxy content (ENR-25), and the properties of the composites were investigated. The results showed that, incorporation of ENR-25 could enhance the physical properties of the composites, reduce the rolling resistance, and improve the wet-skid resistance. When the addition level of ENR-25 was 5 phr, the comprehensive properties of starch/NR composite were better.

Key words: NR; ENR; starch; composite

一种耐高温高压橡胶密封材料的制备方法

中图分类号: TQ336.4⁺2; TQ333.7 文献标志码: D

由青岛科技大学和中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司采油工艺研究院申请的专利(公开号 CN 101824172A, 公开日期 2010-09-08)“一种耐高温高压橡胶密封材料的制备方法”, 提供了一种可应用于油田深采采油工程工艺中的耐高温高压橡胶密封材料的制备方法。材料配方为: 氢化丁腈橡胶(HNBR) 100, 炭黑 10~70, 金属氧化物 2~20, 硬脂酸 1~5, 丙烯酸盐 5~100, 防老剂 1~6, 增塑剂 5~30, 防焦剂 2~10, 硫化剂 2~10, 硫化助剂 2~10。其制备方法为: 将 HNBR 放入开炼机中进行塑炼, 然后将金属氧化物、硬脂酸、丙烯酸盐、炭黑、防老剂、增塑剂、防焦剂、硫化剂和硫化助剂依次加入开炼机中混炼均匀得混炼胶, 将混炼胶放入平板硫化机中进行一段硫化, 硫化条件为(150~180) °C/(10~20) MPa×(20~40) min, 然后将其从平板硫化机中取出, 在 150~180 °C 温度下进行二段硫化得到性能优异的硫化胶。该方法工艺过程简单, 产品成本低, 且具有优异的物理性能, 尤其是高温物理性能良好。

(本刊编辑部 赵 敏)

耐 125 °C 等级低烟无卤阻燃铁路机车单芯电缆绝缘橡胶

中图分类号: TQ336.4⁺2; TQ334.2 文献标志码: D

由江苏巨业电缆有限公司申请的专利(公开

号 CN 101851368A, 公开日期 2010-10-06)“耐 125 °C 等级低烟无卤阻燃铁路机车单芯电缆绝缘橡胶”, 涉及的耐 125 °C 等级低烟无卤阻燃铁路机车单芯电缆绝缘橡胶配方为: 乙烯-乙酸乙烯酯共聚物 100, 过氧化二异丙苯 2~5, 三烯丙基异三聚氰酸酯 1~4, 二盐基亚磷酸铅 1~4。该产品绝缘性能优异, 具有优良的耐候、耐臭氧、耐热老化、耐酸碱、耐燃料油等性能, 而且低烟无卤阻燃, 环保安全, 使用寿命长。

(本刊编辑部 赵 敏)

橡胶隔振(震)器

中图分类号: TQ336.4⁺2 文献标志码: D

由西门子(中国)有限公司申请的专利(公开号 CN 101858396A, 公开日期 2010-10-13)“橡胶隔振(震)器”, 涉及的橡胶隔震器包括 1 个橡胶件和 1 个压紧件。橡胶件包括 1 个横向橡胶部分和 1 个纵向橡胶部分, 纵向橡胶部分分为形状对称的 2 个部分位于横向橡胶部分两侧; 在与橡胶件纵轴垂直的方向上, 横向橡胶部分的刚度系数为 K_s , 纵向橡胶部分的负刚度系数为 K_N , K_N 的绝对值与 K_s 大小相等; 压紧件将橡胶件压紧在支承物上。该橡胶隔震器结构简单, 通过调整正负刚度机构的刚度系数, 可以实现橡胶隔震器的零刚度系数, 从而阻隔各种频率的振动, 特别是低频振动。

(本刊编辑部 赵 敏)