

改性高岭土/顺丁橡胶复合材料制备工艺研究

方 纪¹,管俊芳^{1,2},叶 瀚³,吕 灏¹,李 晨¹

(1. 武汉理工大学 资源与环境工程学院,湖北 武汉 430070;2. 矿物资源加工与环境湖北省重点实验室,湖北 武汉 430070;3. 华新环境工程有限公司,湖北 武汉 430073)

摘要:研究改性高岭土/顺丁橡胶复合材料的制备工艺。结果表明,高岭土最佳改性条件为(以高岭土干矿量为标准):活化剂棕榈油用量 1%,改性剂WD-70用量 1%,辅助改性剂硬脂酸用量 1%,改性温度 90 ℃,改性时间 20 min;复合材料最佳制备工艺为:改性高岭土用量(粒度小于5 μm占74%) 100份,硫化温度 140 ℃,硫化时间 22 min;以微细粒级改性高岭土填充顺丁橡胶,制备的复合材料力学性能均能达到橡胶鞋底国标要求;复合材料拉断面的SEM照片显示,改性高岭土与橡胶基质融合较好。

关键词:高岭土;顺丁橡胶;改性;工艺条件;力学性能

中图分类号:TQ333. 2;TQ330. 38⁺3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2018)00-0000-06

高岭土作为一种储量丰富的非金属资源,在国民经济和日常生活中应用广泛^[1],因其主要组成高岭石特有的片状形态和微细粒度,使其作为功能性填料的研究越来越深入。关于高岭土填料在橡胶中应用的研究文献较多,可归纳为:高岭土和其他填料(如白炭黑)并用补强橡胶材料(如顺丁橡胶、丁苯橡胶和天然橡胶)^[2-4];高岭土单独补强天然橡胶^[5-7]、丁苯橡胶^[8-10]、三元乙丙橡胶^[11]和卤化丁基橡胶^[12];高岭土补强共混胶料(如天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶共混)^[13-14]。这些研究对高岭土在橡胶工业的应用有着积极的指导作用。然而,以高岭土为单一填料补强顺丁橡胶的研究却鲜有报道。

顺丁橡胶的弹性是所有合成橡胶中最好的,同时具有滞后损失小、低温性能好、耐磨性能优异、耐屈挠性能优异、与其他弹性体相容性好等优点。但是由于其不易塑炼、加工性能较差,一般不单独使用,多与天然橡胶、丁苯橡胶、氯丁橡胶等并用^[15-16]。本工作通过对高岭土进行改性,将其填充至顺丁橡胶,制备改性高岭土/顺丁橡胶复合材料,分析改性高岭土补强顺丁橡胶的效果,为高岭

土在顺丁橡胶中的应用提供试验支持。

1 实验

1.1 主要原材料

顺丁橡胶,牌号9000,中国石油巴陵石化公司产品;高岭土(各成分质量分数如下:Al₂O₃ 0.344 1, SiO₂ 0.468 8, TFe₂O₃ 0.018 6, Na₂O 0.001 5, K₂O 0.021 6, TiO₂ 0.001 2,白度为63.91%),产自广西北海;氧化锌,无锡泽辉化工有限公司产品;硬脂酸,四川天宇油脂化学有限公司产品;古马隆树脂,兰州江中石化有限公司产品;防老剂4010NA,中国石化南京化学工业有限公司产品;防老剂D,天津五一化工厂产品;硫黄,山东临沂金矿化工有限公司产品;促进剂EZ,濮阳蔚林化工有限公司;促进剂D、DM、CZ和TMTD,天津有机化工一厂产品。

1.2 基本配方

顺丁橡胶 100,氧化锌 5,硬脂酸 2,防老剂4010NA 1.5,硫黄 1.2,促进剂DM 1,促进剂M 0.7,促进剂D 0.4。

1.3 主要设备和仪器

GH-10DY型高速混合机,北京英特塑料机械总厂产品;X(S)K-160开炼机,上海双翼橡胶机械有限公司产品;0.25 MN半自动压力成型机,上海西玛伟力橡塑有限公司产品;CP-25型切片机,上

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(155208002,2015-zy-078)

作者简介:方纪(1993—),男,河南信阳人,武汉理工大学硕士研究生,主要从事非金属矿物材料研究。

E-mail:fangji1993@foxmail.com

海化工机械四厂产品; LX-A型邵氏橡胶硬度计, 上海六菱仪器厂产品; RGD-5型电子拉力试验机, 深圳市瑞格尔仪器有限公司产品; 401B-A型老化箱, 上海基伟实验仪器总厂产品; JSM-5610LV型电子显微镜(SEM), 日本JEOL公司产品。

2 结果与讨论

2.1 高岭土改性

采用干法对高岭土进行表面改性, 通过预评价(活化指数)和结果评价(材料力学性能)相结合的评价机制对改性效果进行评价, 确定改性工艺条件, 改性阶段的药剂以占改性高岭土干矿量的百分比表示其用量。

2.1.1 单一药剂

合适的改性剂可以在高岭土与胶料之间起到良好的“桥梁”作用^[17]。选用4种药剂(硬脂酸、硅烷偶联剂WD-81、WD-70和钛酸酯偶联剂NDZ-201)进行改性试验, 结果见表1。

表1 单一药剂改性高岭土填充试验结果

项 目	改性剂			
	硬脂酸	WD-81	WD-70	NDZ-201
预评价				
活化指数/%	86.3	84.5	81.9	78.4
结果评价				
邵尔A型硬度/度	47	48	48	46
300%定伸应力/MPa	—	—	1.97	—
拉伸强度/MPa	2.17	2.34	2.47	2.16
拉断强度/MPa	1.03	1.90	0.76	1.31
定应力伸长率/%	126	114	201	135
拉断伸长率/%	272	234	323	294
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	15	18	21	16

注: 活化剂季铵盐1632 1.5%, 改性温度 90 ℃, 改性时间 20 min, 硫化温度 150 ℃, 硫化时间 10 min, 填充量 20份。

从表1可以看出, 预评价改性效果最佳的为硬脂酸, 活化指数达到86.3%; 结果评价中改性效果最佳的为硅烷偶联剂WD-70, 制备的复合材料300%定伸应力为1.97 MPa, 定伸应力伸长率达到201%, 拉伸强度达到2.47 MPa, 撕裂强度达到21 kN·m⁻¹, 拉断强度为0.76 MPa, 拉断伸长率达到323%。综合两种评价, 硅烷偶联剂WD-70的改性效果最好, 而钛酸酯偶联剂NDZ-201的改性效果最差。

4种改性剂对高岭土粉体均有改性作用。高岭土粉体经硬脂酸表面改性后, 其活化指数虽然

高于硅烷偶联剂WD-70改性高岭土, 但其复合材料力学性能却较低, 这是因为硅烷偶联剂与高岭土的作用为化学吸附, 吸附较牢固, 而且分子中还含有与高聚物基体发生偶联作用的基团^[18]。WD-70作为一种甲基丙烯酰氧基硅烷, 一方面其分子内的硅烷低聚物能够与粉体表面羟基以氢键、共价键等形式发生作用, 另一方面其不饱和双键能够与顺丁橡胶中不饱和双键发生化学反应, 从而在高岭土补强顺丁橡胶的过程中起到“桥梁”作用, 提高材料的力学性能。而硬脂酸改性高岭土仅是在粉体表面形成包覆, 无法起到“桥梁”的作用。

2.1.2 复配药剂

不同种类的改性剂其官能团不同, 复配后不同的官能团之间可能产生协同作用, 从而进一步提高复合材料的力学性能, 使药剂的复配效果优于单独使用的效果^[19]。结合2.1.1试验, 分别以棕榈油、季铵盐类活化剂1632和D-1821为活化剂, 硅烷偶联剂WD-70和WD-81为改性剂, 硬脂酸为辅助改性剂, 进行6组活化剂和改性剂的复配改性试验。制备的复合材料性能见表2。

从表2可以看出, 复配改性后, 高岭土的改性效果有明显的提升, 其中棕榈油、硅烷偶联剂WD-70、硬脂酸复配的改性效果最为优良, 活化指数达到96.1%, 所制备复合材料300%定伸应力为2.97 MPa, 拉伸强度达到3.84 MPa, 拉断强度为2.96 MPa, 拉断伸长率为403%, 撕裂强度为18 kN·m⁻¹。因为活化剂棕榈油的主要成分为油酸和软脂酸(棕榈酸), 其分子一端为长链有机亲油基团, 结构与顺丁橡胶相似, 与顺丁橡胶有一定的相容性, 另一端为羧基, 可与高岭土表面发生吸附作用, 所以具有类似偶联剂的作用, 可改善高岭土(主要矿物为高岭石)与胶料的亲和性, 提高其在胶料中的分散度, 从而提高材料的力学性能。另外, 由于棕榈油本身具有润滑作用, 可使复合体系内摩擦力减小, 从而改善复合体系的流动性能^[18]。而季铵盐类活化剂1632和D-1821虽然也能够提升高岭土的改性效果, 但其效果比脂肪酸类活化剂弱。这是因为季铵盐与高岭土的表面作用只是一种吸附作用, 长碳链仅起到改善相容性的作用^[20], 无法起到类似硅烷偶联剂的“桥梁”作用, 所以复合材料力学性能较差。

表2 复配药剂改性高岭土填充试验结果

项 目	复配药剂					
	棕榈油+WD-70	棕榈油+WD-81	1632+WD-70	1632+WD-81	D-1821+WD-70	D-1821+WD-81
预评价						
活化指数/%	96.1	93.2	81.9	84.5	84.2	85.6
结果评价						
邵尔A型硬度/度	52	51	48	47	54	54
300%定伸应力/MPa	2.97	2.16	2.10	—	2.42	2.23
拉伸强度/MPa	3.84	2.79	2.73	2.27	3.22	3.62
拉断强度/MPa	2.96	1.92	1.68	1.82	3.04	3.16
定应力伸长率/%	67	72	118	120	67	72
拉断伸长率/%	403	352	310	296	350	316
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	18	14	14	14	15	17

注:1)复配药剂的用量比均为1:1;2)改性温度 90℃,改性时间 20 min,硫化温度 150℃,硫化时间 12 min,填充量 60份。

2.1.3 复配药剂用量优化

为进一步提高复合材料的性能,针对棕榈油、硅烷偶联剂WD-70、硬脂酸的用量和改性温度进行了一组优化实验,以确定适宜的改性工艺条件,试验结果见表3。

在试验S-6中,高岭土经改性后,表面活性指数提升最明显,达到98.0%。提高棕榈油用量对改性高岭土活化指数的提升较明显,但对复合材料性能的提升效果较差。在试验S-2中,活化指数虽然为90.7%,但所得复合材料力学性能最为优良,其拉伸强度为4.62 MPa,撕裂强度为21 kN·m⁻¹。综合考虑,适宜的改性工艺为:棕榈油用量为1%,WD-70用量为1%,硬脂酸用量为1%,改性温度为90℃。

由试验S-1,S-2,S-3可知,随着药剂用量的增大,活化指数呈不断增大的趋势,而复合材料的力学性能却先提高后降低。这表明过大的药剂用量能够对高岭土粉体形成较完全的包覆,使其具有较高的活化指数,但过多的药剂会在粉体表面形成多层包覆,使粉体与胶料间的结合力度下降,导

致复合材料性能降低。

2.1.4 改性时间

取10,20,30,40 min这4个时间进行探究,结果见表4。

从表4可以看出,当改性时间由10 min延长到20 min时,活化指数增大显著,之后再随着改性时间的延长,活化指数变化不明显,说明改性过程中粉体的包覆在20 min以内完成。改性时间为20 min的高岭土填充顺丁橡胶,其力学性能达到最佳,定伸应力为2.65 MPa,拉伸强度为4.62 MPa,拉断伸长率为531%,撕裂强度为21 kN·m⁻¹。之后复合材料性能略有下降。这可能是由于过长的改性时间使得药剂挥发,影响改性效果,而且导致混合机内的机械力影响了改性剂吸附,使其发生脱附,从而导致复合材料性能下降。

2.2 硫化条件

2.2.1 硫化温度

硫化温度对复合材料性能的影响见表5。

从表5可以看出,当温度为140℃时,复合材料的拉伸强度为6.13 MPa、拉断伸长率为902%、

表3 复配药剂用量优化试验结果

项 目	试验编号								
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9
棕榈油/%	0	1	2	0	1	2	0	1	2
硅烷偶联剂WD-70/%	0.5	1	1.5	1	1.5	0.5	1.5	0.5	1
硬脂酸/%	0.5	1	2	2	0.5	1	1	2	0.5
改性温度/℃	90	90	90	95	95	95	100	100	100
活化指数/%	50.0	90.7	92.1	60.2	75.1	98.0	38.0	95.4	96.1
定应力伸长率/%	60	76	67	65	69	71	57	67	67
拉伸强度/MPa	3.31	4.62	2.66	2.52	2.50	3.33	2.98	2.72	3.84
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	14	21	16	18	18	15	14	18	18

注:改性时间 20 min,硫化温度 150℃,硫化时间 12 min,填充量 60份。

表4 改性时间试验结果

项 目	改性时间/min			
	10	20	30	40
预评价				
活化指数/%	82.1	90.7	91.5	90.6
结果评价				
邵尔A型硬度/度	53	53	54	51
300%定伸应力/MPa	2.77	2.65	2.41	2.35
拉伸强度/MPa	3.99	4.62	4.30	4.41
拉断强度/MPa	1.14	1.03	1.23	1.10
定应力伸长率/%	90	76	87	82
拉断伸长率/%	435	531	471	490
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	19	21	18	20

注:硫化温度 150 ℃,硫化时间 12 min,改性高岭土填充量 60份。

表5 硫化温度试验结果

项 目	硫化温度/℃				
	135	140	145	150	155
邵尔A型硬度/度	48	50	47	50	49
300%定伸应力/MPa	2.61	2.47	2.56	2.76	2.16
定伸应力伸长率/%	89	66	66	75	57
拉伸强度/MPa	5.36	6.13	5.33	5.16	4.39
拉断强度/MPa	3.32	5.86	2.60	3.31	2.68
拉断伸长率/%	863	902	852	862	679
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	18	17	17	16	18

注:硫化时间 12 min,改性高岭土填充量 60份。

拉断强度为5.86 MPa,均为最大值;硬度为50度,300%定伸应力为2.47 MPa,撕裂强度为17 kN·m⁻¹,均处于较高值。硫化温度的提高虽然对提升硫化效率有帮助,但过高的硫化温度会使橡胶分子链产生裂解反应,导致交联键断裂,出现“硫化返原”现象。硫化体系也会对硫化温度产生影响,硫化体系不同,则硫化特性不同,有的需要高温硫化,有的需要低温硫化^[21]。综合考虑,硫化温度为140 ℃比较合适。

2.2.2 硫化时间

硫化时间与硫化温度是密切相关的。在140

℃硫化温度下,硫化时间对复合材料性能的影响见表6。

表6 硫化时间试验结果

项 目	硫化时间/min				
	20	22	24	26	28
邵尔A型硬度/度	50	51	46	51	52
300%定伸应力/MPa	2.47	2.55	2.37	2.76	2.78
拉伸强度/MPa	6.13	6.69	5.39	4.81	4.72
拉断强度/MPa	5.86	5.50	4.80	2.16	3.73
定应力伸长率/%	66	40	102	69	61
拉断伸长率/%	902	972	1 058	792	753
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	17	17	16	17	19

注:改性高岭土填充量 60份。

从表6可以看出,当硫化时间为22 min时,复合材料的拉伸强度达到6.69 MPa,且300%定伸应力达到2.55 MPa、拉断伸长率为972%、拉断强度为5.50 MPa、撕裂强度为17 kN·m⁻¹均处于较高水平。综合考虑22 min为最佳硫化时间。

2.3 改性高岭土填充量

改性高岭土填充量对复合材料性能的影响见表7。

从表7可以看出,随着改性高岭土填充量的增大,复合材料的力学性能有很大程度的提升。当改性高岭土填充量为120份时,定伸应力、拉伸强度、拉断强度、拉断伸长率均达到最大值,且撕裂强度也处于较高水平。但是,随着改性高岭土填充量的增大,胶料混炼出现脱辊现象,不易加工,大大延长了混炼时间。而当改性高岭土填充量为100份时,复合材料的硬度为50度,300%定伸应力为2.76 MPa,拉伸强度为5.16 MPa,拉断强度为3.31 MPa,撕裂强度为16 kN·m⁻¹,均处于较高水平。综合分析,改性高岭土的适合填充量为100份。

2.4 细粒高岭土

以上的试验中,粒度小于5 μm的改性高岭土

表7 改性高岭土填充量试验结果

项 目	填充量/份						
	0	20	40	60	80	100	120
邵尔A型硬度/度	46	55	51	53	48	50	53
300%定伸应力/MPa	1.84	2.16	2.47	2.81	2.89	2.76	2.94
拉伸强度/MPa	2.19	3.58	4.00	4.62	5.01	5.16	6.40
拉断强度/MPa	1.96	2.23	2.11	1.03	3.66	3.31	4.27
定应力伸长率/%	180	143	187	76	81	75	39
拉断伸长率/%	326	451	487	531	790	862	896
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	12	23	23	21	18	16	17

仅占41%,粒子较粗。为制备性能更加优良的复合材料,以4种不同细度的高岭土(K-1~K-4,粒度小于5 μm 的高岭土分别占74%,68%,60%,50%)进行试验,其复合材料力学性能见表8。

从表8可以看出,粒度最细的K-1制备的复

合材料性能最为优良,硬度为58度,拉伸强度为14.13 MPa,拉断伸长率为1 201%,300%定伸应力为4.53 MPa,撕裂强度为27 $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$,磨耗量为0.921 cm^3 ,胶料耐磨性能得到显著提升。这可能是高岭土的粒度不仅对高岭土的改性过程有影

表8 复合材料与软质橡胶鞋底力学性能的对比

项 目	高岭土编号				国标要求		
	K-1	K-2	K-3	K-4	运动鞋底	便鞋底	鞋跟
密度/($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	1.225	1.216	1.213	1.186	≤ 1.30	—	—
邵尔A型硬度/度	58	60	56	53	55~75	55~75	55~80
300%定伸应力/MPa	4.53	4.30	3.80	3.30	≥ 3.0	—	—
拉伸强度/MPa	14.13	10.18	11.03	8.85	≥ 10.0	≥ 8.5	≥ 9.0
拉断伸长率/%	1 201	960	907	1 035	≥ 350	≥ 300	≥ 300
撕裂强度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$)	27	25	25	20	≥ 30	≥ 25	—
磨耗量/ cm^3	0.921	1.826	1.174	1.280	≤ 1.00	≤ 1.30	≤ 0.90

响,也影响其在胶料中的分散性,进而影响胶料的硫化过程。高岭土的粒度越小,其比表面积越大,表面暴露的羧基基团越多,达到相同包覆率所需要的表面改性剂的用量较粒度较大的高岭土大^[20]。细粒级高岭土在橡胶基质的分散性能明显好于粗粒级颗粒,避免了复合材料在拉伸过程中出现应力集中的现象,能够得到更佳的力学性能。

由表8可知,所制备的复合材料力学性能均不同程度达到橡胶鞋底国标(HG/T 3082—1999)要求,复合材料性能能够满足鞋底、鞋跟国际指标的要求。

3 SEM分析

对试验结果最佳的K-1组复合材料的拉断面进行SEM分析,得到的SEM照片,如图1所示。

在放大500倍的照片中,拉伸断面呈无规则、凹凸不平的形貌特征,可见颗粒状的高岭土聚集体,但在橡胶基质中分散均匀,且有一定的取向性;在2 000倍照片中,改性高岭土大部分都是与拉伸过程中受力方向平行地镶嵌在橡胶基质中,这种具有方向性的结合方式明显增大了内摩擦受力面积,从而较大地提高了硫化胶所承受的最大载荷;从5 000倍的照片可知,该改性高岭土片层较薄,取向整齐一致,有较多的片层高岭土抽出留下的孔洞,且有明显的受力痕迹;从10 000倍照片可知,抽出的高岭土片层表面有少量的橡胶基质,且高岭土抽出后留下的孔洞不整齐,说明在拉伸过

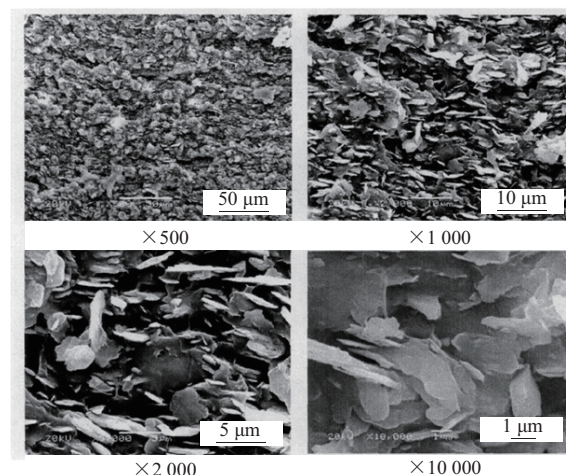


图1 复合材料拉断面SEM照片

程中受到了相当大的外力作用,这也说明了改性高岭土片层很好地融合在橡胶基质中,与橡胶结合紧密。从SEM照片可知,改性高岭土与橡胶基质结合强度很高,镶嵌在橡胶基质中的改性高岭土取向整齐一致,提高了复合材料的力学性能。

4 结论

(1)高岭土最佳改性条件为:活化剂棕榈油用量 1%,改性剂WD-70用量 1%,辅助改性剂硬脂酸用量 1%,改性温度 90 $^{\circ}\text{C}$,改性时间 20 min。复合材料最佳制备工艺为:改性高岭土(粒度小于5 μm 的占74%)用量 100份,硫化温度 140 $^{\circ}\text{C}$,硫化时间 22 min。

(2)复合材料性能可达:拉伸强度14.13MPa,

撕裂强度 $27\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$,邵尔A型硬度58度,磨耗量 0.921 cm^3 。改性高岭土/顺丁橡胶复合材料力学性能均达到了橡胶鞋底国标要求。

(3)复合材料拉断面SEM照片表明,改性高岭土能够很好地融合到橡胶基质当中。

参考文献:

- [1] 吴小媛,王文利. 世界高岭土生产概况[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2005(4): 58-60.
- [2] 杨慧群. 高岭土/白炭黑补强BR/SBR的试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012.
- [3] 张玉德, 刘钦甫, 李和平, 等. 高岭土/白炭黑并用填充天然橡胶复合材料的性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2011, 27(3): 87-91.
- [4] 张印民, 吉雷波, 刘钦甫, 等. 高岭土与膨润土复配填充丁苯橡胶复合材料的性能[J]. 合成橡胶工业, 2015, 38(2): 150-154.
- [5] 肖曲, 高惠民, 管俊芳, 等. 淮北煤系高岭土补强天然橡胶试验研究[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2009, 75(3): 38-40.
- [6] 吴明生, 邹玉荣. 高岭土在天然橡胶中的补强性能研究[J]. 橡胶科技, 2013, 11(6): 26-30.
- [7] Yahaya L E. Mechanical Properties of Organomodified Kaolin/Natural Rubber Vulcanizates[J]. Applied Clay Science, 2009, 46(3): 283-288.
- [8] 程宏飞, 周熠, 吴珍珠, 等. 插层剥离改性高岭土填充丁苯橡胶复合材料的力学性能[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2015, 119(6): 23-26.
- [9] 杨文. 高岭土在丁苯橡胶中的应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [10] 林浩. 高岭土补强丁苯橡胶的实验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [11] 叶舒展. 煅烧高岭土的表面改性及其在三元乙丙橡胶印刷胶辊胶料中的应用研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2005.
- [12] 代高峰. 纳米高岭土在药用卤化丁基橡胶瓶塞中的应用[J]. 世界橡胶工业, 2011, 38(3): 1-4.
- [13] 管俊芳, 程飞飞, 陈阳. 高岭土补强NR/SBR/BR的红外光谱研究[J]. 硅酸盐通报, 2014, 33(4): 720-723.
- [14] 武卫莉, 张广信, 于明磊. 高岭土填充橡胶共混物的性能及表征[J]. 弹性体, 2010, 20(5): 64-69.
- [15] 张莉, 王虹, 翟军, 等. 白炭黑/丁苯吡橡胶/顺丁橡胶复合材料的性能研究[J]. 橡胶工业, 2016, 63(3): 133-137.
- [16] 彭俊彪. 炭黑分布对天然橡胶/顺丁橡胶并用胶性能的影响[J]. 橡胶工业, 2018, 65(1): 60-63.
- [17] 孙克新. 高岭土改性及其在NR中的应用研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2014.
- [18] 陈阳. 高岭土/白炭黑表面改性及在并用胶复合材料的应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [19] 郭荣华, 赵煌. 表面改性高岭土作为橡胶补强填料的研究[J]. 非金属矿, 1995, 18(3): 42-44.
- [20] 郑水林, 王彩丽. 粉体表面改性[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2011.
- [21] 朱延伟. 橡胶硫化的影响因素分析[J]. 机电产品开发与创新, 2015, 28(3): 55-57.

收稿日期: 2018-02-05

Study on Preparation Technology of Modified Kaolin/Butadiene Rubber Composites

FANG Ji¹, GUAN Junfang^{1,2}, YE Han³, LYU Hao¹, LI Chen¹

(1. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Hubei Key Laboratory of Mineral Resources Processing and Environment, Wuhan 430070, China; 3. Huaxin Environmental Engineering Co., Ltd, Wuhan 430073, China)

Abstract: The preparation technology of modified kaolin/butadiene rubber composites was investigated. The results showed that, the optimum modification conditions of Kaolin were as follows (based on the amount of Kaolin dry ore): activator palm oil 1%, modifier WD-70 1%, auxiliary modifier stearic acid 1%, modification temperature 90 °C, modification time 20 min. The best preparation technology of composites were as follows: modified Kaolin (particle size less than 5 μm was 74%) 100 phr, curing temperature 140 °C, curing time 22 min. The mechanical properties of composites which were filled with modified fine grade Kaolin could meet the requirements national standards for rubber soles. The SEM images of the stretching cross-section of composites showed that there was a good compatibility of the modified Kaolin and rubber matrix.

Key words: Kaolin; butadiene rubber; modification; process condition; mechanical property