

废轮胎热裂解炭黑浮选降灰

力涛¹, 王帅², 陈王洋¹, 姜海迪¹, 付元鹏¹

(1. 中国矿业大学化工学院, 江苏 徐州 221116; 2. 中国矿业大学现代分析与计算中心, 江苏 徐州 221116)

摘要: 这是一篇矿物加工工程领域的论文。本文通过浮选法对废轮胎热裂解炭黑进行了降灰提纯研究, 探究了不同操作因素对炭黑浮选提质的影响规律, 并借助形貌和物相表征技术对不同浮选产物的性质进行了分析。结果表明, 当矿浆浓度为 20 g/L、捕收剂用量为 500 g/t、起泡剂用量为 1500 g/t、刮泡时间 9 min 和充气量为 0.25 m³/h 时, 炭黑浮物产率为 62.32%, 灰分为 17.29%, 沉物产率为 37.68%, 灰分为 23.32%, 石英脱除率为 75.49%, 碳酸钙脱除率为 66.23%, 石英、方解石等矿物质得到了有效的去除, 其中充气量对实验影响较为显著。研究表明浮选法可对废轮胎热裂解炭黑进行降灰, 可作为热裂解炭黑降灰提纯的有效预处理方法。

关键词: 矿物加工工程; 废弃轮胎; 热裂解炭黑; 浮选; 降灰提纯

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.06.027

中图分类号: TD97 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2023) 06-0176-08

随着我国汽车产销量的快速增长, 以及每年报废车辆的大量增加, 每年产生的废轮胎数量也在急剧增长, 废轮胎的循环利用也越来越被关注^[1-3]。和其他废轮胎回收利用的方法相比, 热裂解生产炭黑不仅可以提高产品附加值和经济效益, 而且它还是一种绿色环保的废轮胎回收处理方法^[4-6]。但是废轮胎热裂解产生的炭黑无机杂质含量较高, 一般在 20% 左右, 严重影响了裂解炭黑的高值化利用, 因此, 有必要对废轮胎热裂解炭黑进行降灰处理^[7]。

由于轮胎生产工艺和热裂解工艺所致, 废轮胎热裂解炭黑中含有大量二氧化硅、碳酸钙和硫化锌等矿物质颗粒^[8], 目前的处理方法主要是使用化学法处理, 通过不同酸、碱处理工艺组合达到脱硫降灰目的^[9-10]。化学法处理效率高, 但成本较高, 且容易产生二次污染。如果使用浮选方法对热裂解炭黑进行预处理, 脱除部分矿物质, 将减少后续酸碱用量, 降低二次污染风险^[11-12]。本研究

通过浮选法对废轮胎热裂解炭黑进行预分选, 去除二氧化硅、碳酸钙等矿物质, 通过实验和多种分析测试手段, 研究不同药剂制度、矿浆浓度、充气量和刮泡时间对炭黑浮选过程的影响。

1 实验方法与仪器

1.1 实验方法及设备

浮选实验采用煤油作为捕收剂, 仲辛醇作为起泡剂, 水玻璃 (Na₂SiO₃) 作为抑制剂和分散剂。先用适量的无水乙醇 (无水乙醇和炭黑的用量比为 2 mL: 1 g) 把废轮胎裂解炭黑润湿并搅拌 3 min, 将其表面的油膜去除, 然后加水并将炭黑浆搅拌 2 min 使之充分分散。将炭黑浆倒入浮选槽中, 加水至第一道标线, 开动浮选机搅拌至炭黑全部润湿, 加水至第二道标线, 搅拌 2 min 后向矿浆液面下加入作为抑制剂和分散剂的水玻璃并搅拌 2 min, 之后向液面下加入捕收剂煤油, 再过 1 min 向液面下加入起泡剂仲辛醇, 搅拌 10 s 后,

收稿日期: 2021-05-29; 修回日期: 2021-07-10

基金项目: 国家自然科学基金 (51904295); 中央高校基本科研业务费专项资金 (2019QNA21); 中国矿业大学实验技术与开发项目 (S2021Y009)

作者简介: 力涛 (1996-), 男, 硕士生, 主要从事矿物加工工程方面的研究。

通信作者: 王帅 (1985-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事二次资源综合利用方面的研究工作。

打开进气阀门，同时打开刮板开关开始刮泡。刮泡时间为 7 min，然后将浮物和沉物分别进行过滤、烘干和做后续分析。

使用工业分析仪、激光粒度分析仪（型号：LS13320XR）和场发射扫描电镜-X射线能谱分析仪（FSEM-EDS，型号：MAIA3 LMH）分别对热裂解炭黑的原料进行工业分析、粒度分析、表面形貌和元素组成分析；使用单槽浮选机（型号：RK/FD，容积为 1.5 L，叶轮转速为 1 620 r/min）对裂解炭黑进行浮选，再用过滤机、烘箱、马弗炉、分析天平等设备对浮选产品进行称重和灰分测定；使用 X 射线衍射仪（XRD，型号：D8 ADVSNCE）对原料以及产物进行物相和含量分析；使用场发射电子探针显微分析仪（EPMA，型号：EPMA-8050G）对不同物料进行元素面分布分析。

使用 XRD，通过与标准物质比对，并依照“内标法”对不同物料中的石英和方解石等矿物进行定量分析，并计算二者的去除率，计算公式如下：

$$R_{\text{石英}} = \gamma_{\text{沉物}} \times \frac{w_1}{w_{\text{石英}}} \times 100\% \quad (1)$$

$$R_{\text{碳酸钙}} = \gamma_{\text{沉物}} \times \frac{w_2}{w_{\text{碳酸钙}}} \times 100\% \quad (2)$$

式中 R—去除率，%；

w_1 —浮选沉物中石英含量，%；

w_2 —浮选沉物中碳酸钙含量，%；

w —入料中石英（或碳酸钙）总含量，%；

$\gamma_{\text{沉物}}$ —浮选沉物产率，%。

1.2 实验原料

实验原料为来自某废弃轮胎回收利用企业生产的热裂解炭黑，裂解炭黑原料的含水量较低，为 1.91%，灰分较高，为 20.33%，固定碳含量较高，为 72.79%，挥发分含量为 4.97%，若对其降灰提纯后可作为一种优质的高含碳原料。

采用激光粒度分析仪测量其粒度组成，样品粒度组成见图 1，其粒度主要分布在 6~45 μm ，平均粒径为 20.39 μm 。其中小于 10 μm 的炭黑颗粒占总样品的颗粒累计体积的 24.15%；小于 40.64 μm 的炭黑颗粒占总体积的 95.00%。废轮胎裂解炭黑的粒度非常细，这为热裂解炭黑的浮选降灰提纯带来了难度。

热裂解炭黑颗粒表面形貌和元素组成见图 2，表明热裂解炭黑的灰分主要来自于 SiO_2 、 CaCO_3

和 ZnS 等矿物杂质，而且热裂解炭黑中的 SiO_2 、 CaCO_3 和 C 颗粒相互解离，但是 ZnS 和 C 结合程度较高，存在伴生现象。所以使用浮选法去除热裂解炭黑中的 SiO_2 、 CaCO_3 颗粒相对容易，去除 ZnS 难度较大。

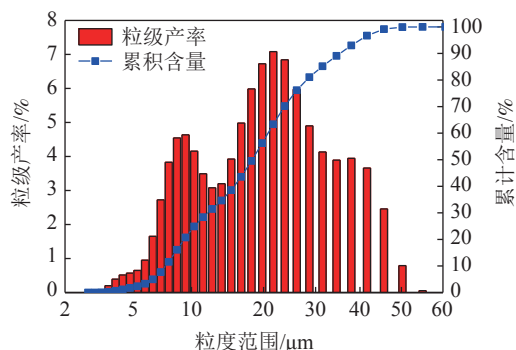


图 1 粒度组成分析

Fig.1 Analysis of particle size distribution

2 结果与讨论

2.1 抑制剂用量实验

实验条件为捕收剂煤油用量 1 000 g/t，起泡剂仲辛醇 1 000 g/t，矿浆浓度 20 g/L，充气量 0.10 m^3/h ，刮泡时间 7 min，研究抑制剂水玻璃的用量对废轮胎裂解炭黑产率和灰分的影响，其结果见图 3。随着水玻璃用量的增加，炭黑浮物产率总体呈下降趋势，说明水玻璃对炭黑有一定的抑制作用，浮物灰分则先降低再增加，灰分在水玻璃用量为 1 000 g/t 时出现了较小值 17.51%。但灰分变化并不太显著。原因是水玻璃在抑制石英等矿物的上浮的同时，也对炭黑产生抑制作用，使得浮物产率有所下降。所以在浮选过程中炭黑和杂质矿物同时会被抑制，降低了浮选的选择性，导致浮物灰分相对较高、变化不显著，所以后续实验将不考虑使用抑制剂。抑制剂用量实验中，二氧化硅的脱除率为 53.59%，碳酸钙的脱除率为 37.95%。

2.2 起泡剂用量实验

实验条件为煤油用量 1 000 g/t，矿浆浓度 20 g/L，充气量 0.10 m^3/h ，刮泡时间 7 min，研究仲辛醇的用量对废轮胎裂解炭黑产率和灰分的影响，其结果见图 4，炭黑浮物的产率在仲辛醇为 1 000 g/t 时出现了极大值 61.47%，浮物灰分出现极小值 17.03%。起泡剂用量超过 1000 g/t 后，浮物产率开始下降，

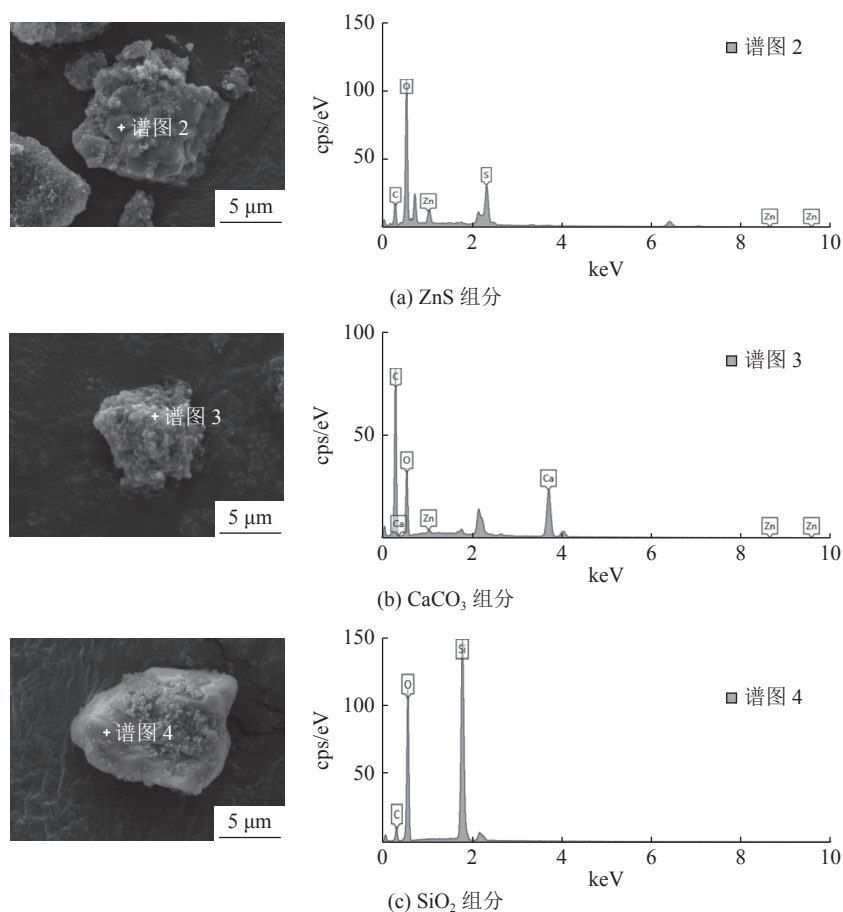


图2 热裂解炭黑 FSEM-EDS 分析
Fig.2 FSEM-EDS analysis of pyrolysis carbon black

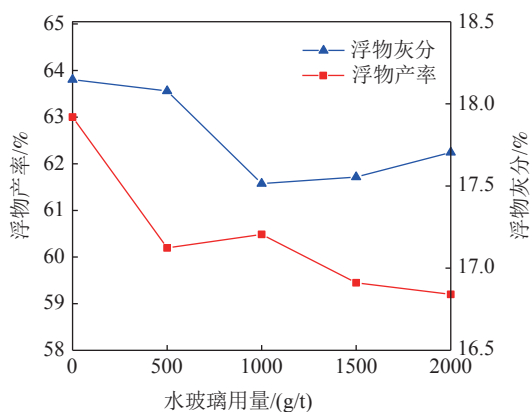


图3 水玻璃用量对浮选效果的影响
Fig.3 Effect of sodium silicate dosage on the flotation

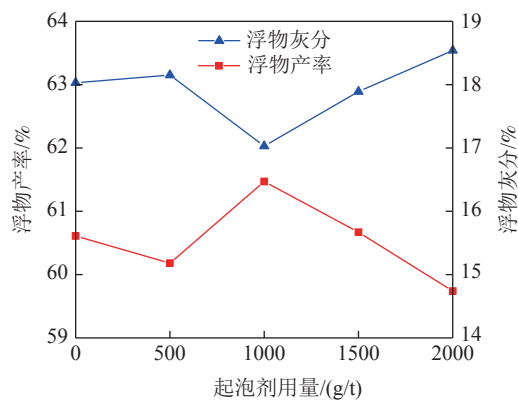


图4 起泡剂用量对浮选效果的影响
Fig.4 Effect of foaming agent dosage on the flotation

浮物灰分明显上升,这是由于多余的起泡剂会包裹在已被捕收剂捕收的炭黑颗粒表面,使起泡剂亲水基朝向水相,使得疏水的炭黑变得亲水,降低了捕收剂的捕收作用。所以起泡剂较佳用量选取 1000 g/t。在此条件下,二氧化硅的脱除率为 70.04%,碳酸钙的脱除率为 39.85%。

2.3 捕收剂用量的影响探究

实验条件为矿浆浓度 20 g/L,仲辛醇用量 1 000 g/t,充气量为 0.10 m³/h,刮泡时间 7 min,研究煤油用量对废轮胎炭黑浮选产率、灰分的影响。其结果见图 5,无捕收剂时,浮物产率为 57.32%,灰分为 18.05%,不同捕收剂用量条件

下, 产率和灰分的变化都不大。考虑到废轮胎裂解炭黑颗粒表面本身就带有一层热解油油膜, 而且热解油具有较强的捕收性能, 热裂解炭黑的天然可浮性较好, 所以捕收剂煤油对炭黑的浮选影响较小。加入过多的捕收剂会作用于裂解炭黑中的一些杂质(如石英、方解石等)的表面, 并使其表面疏水, 将其带入浮选泡沫中, 从而导致浮物灰分升高。此外, 相关研究也表明, 过多的捕收剂也会导致起泡稳定性降低, 减少炭黑颗粒与气泡接触的机会, 降低浮物产率^[11-12]。考虑到灰分、产率随捕收剂用量变化不大, 综合考虑选择捕收剂的较佳用量选为 500 g/t。在此条件下, 二氧化硅的脱除率为 69.17%, 碳酸钙的脱除率为 55.31%。

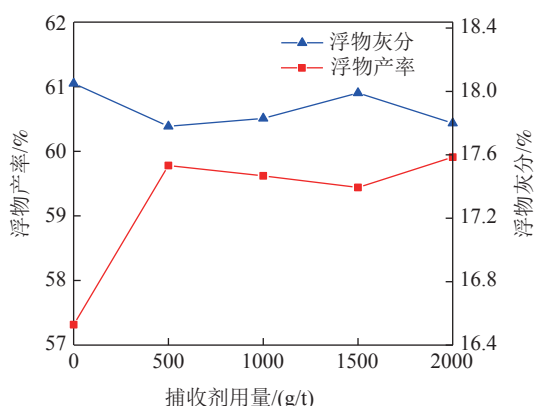


图5 捕收剂用量对炭黑浮选的影响
Fig.5 Effect of collector dosage on the flotation

2.4 矿浆浓度实验

实验条件为煤油用量 500 g/t, 仲辛醇用量 1 000 g/t, 充气量为 0.10 m³/h, 刮泡时间 7 min, 研究矿浆浓度对废轮胎炭黑浮选产率、灰分的影响。其结果见图 6, 浮物产率随着矿浆浓度的增大先增加再减小, 最后产率减小趋势在不断降低, 浮物灰分先减小后增大。炭黑浮物产率在矿浆浓度为 15 g/L 时出现较大值 68.73%, 浮物灰分在矿浆浓度为 5 g/L 出现极小值 17.92%, 虽然矿浆浓度为 5 g/L 时浮物灰分值较低, 但是不同充气量条件下的灰分差距很小, 而且矿浆浓度过低会降低浮选产能和回收率, 矿浆浓度过高会降低分选效果, 对炭黑的降灰提纯不利。所以在保证降灰的前提下, 矿浆浓度的较佳值选择 15 g/L。在此条件下, 二氧化硅的脱除率为 41.66%, 碳酸钙的脱除率为 42.67%。

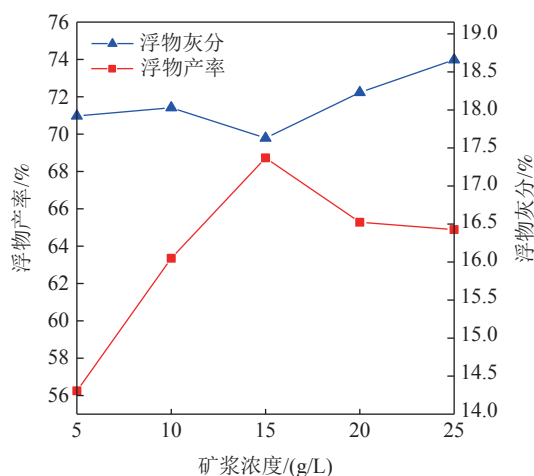


图6 矿浆浓度对浮选的影响
Fig.6 Effect of pulp density on the flotation

2.5 充气量的影响

实验条件为煤油用量 500 g/t, 仲辛醇用量 1 000 g/t, 矿浆浓度 15 g/L, 刮泡时间 7 min, 研究浮选充气量对废轮胎炭黑浮选产率、灰分的影响。其结果见图 7, 浮物产率随着充气量的增大逐渐增加, 在充气量为 0.20 m³/h 时达到极大值 68.33%, 之后略有所下降但下降速率逐渐变缓。浮物灰分则在 18% 左右浮动, 各充气量条件下的灰分数值间的差距不大, 在充气量为 0.20 m³/h 时灰分为 18.17%, 随后灰分开始有所上升。其原因是随着充气量的持续增加, 使得石英等矿物杂质颗粒进入浮物的几率增加, 导致浮物灰分升高。所以较优充气量选为 0.20 m³/h。在此条件下, 二氧化硅的脱除率为 66.52%, 碳酸钙的脱除率为 37.32%。

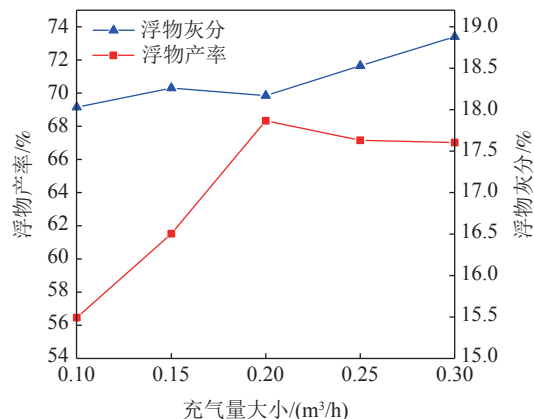


图7 充气量大小对热裂解炭黑浮选的影响
Fig.7 Effect of aeration rate on the flotation

2.6 浮选刮泡时间实验

实验条件为煤油用量 500 g/t, 仲辛醇用量

1 000 g/t, 充气量为 0.20 m³/h, 矿浆浓度 15 g/L。研究刮泡时间对废轮胎炭黑浮选产率、灰分的影响。其结果见图 8, 炭黑浮物产率随着浮选刮泡时间的增加而逐渐增大, 在刮泡时间为 7 min 时, 浮物产率为 58.02%, 灰分为 17.72%, 之后产率虽有所提高但灰分也随之升高。炭黑浮物的灰分呈现先降低后升高的变化趋势, 当刮泡时间为 5 min 时灰分较低, 为 17.27%, 产率为 53.78%, 低于 7 min 的产率, 但不同刮泡时间下的灰分值间的差距很小, 所以较佳的刮泡时间选择 7 min 较为适宜。在此条件下, 二氧化硅的脱除率为 77.68%, 碳酸钙的脱除率为 54.32%。

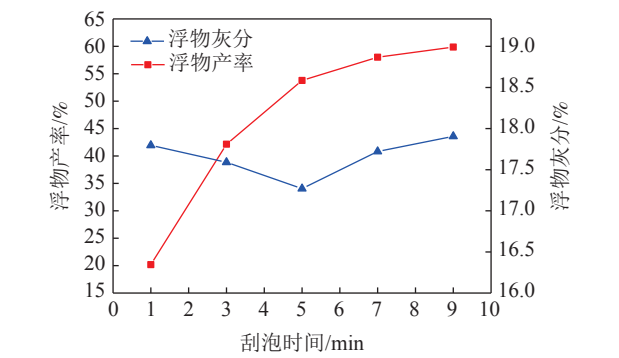


图 8 刮泡时间对浮选的影响
Fig.8 Effect of froth skimming time on the flotation

2.7 炭黑浮选因素的正交实验

选择对炭黑浮选实验影响较大的捕收剂用量、起泡剂用量、充气量、矿浆浓度和刮泡时间五个因素进行研究, 用 L₁₆(4⁵) 进行一次五因素四水平的正交实验, 因素及水平见表 1, 正交实验结果见表 2。

表 1 正交实验因素及水平					
Table 1 Orthogonal test factors and levels					
因素A	因素B	因素C	因素D	因素E	
水平	煤油用量	仲辛醇用量	充气量	矿浆浓度	刮泡时间
	/(g/t)	/(g/t)	/(m ³ /h)	/(g/L)	/min
1	0	0	0.15	10	3
2	500	500	0.20	15	5
3	1000	1000	0.25	20	7
4	1500	1500	0.30	25	9

从方差分析表 3 可知, 当煤油用量 500 g/t、仲辛醇用量 1 500 g/t、充气量 0.25 m³/h、矿浆浓度 20 g/L、刮泡时间 9 min 时, 浮物灰分为 17.52%。充气量对炭黑浮物灰分的影响较大, 五个因素对炭黑浮选灰分的影响由大到小的顺序为: 充气量>刮泡时间>起泡剂用量>矿浆浓度>捕收剂用量。因素 C 充气量对分选效果的影响较为显著, 这与实际实验结果相符。相对来说 A₂B₄C₃D₃E₄ 组合对炭黑降灰提纯的效果更好。

表 2 正交实验结果									
Table 2 Orthogonal test for purification of carbon black									
实验号	A	B	C	D	E	浮物产率/%	浮物灰分/%	石英脱除率/%	碳酸钙脱除率/%
1	1	1	4	3	2	21.32	18.35	82.10	81.19
2	2	1	1	1	3	34.57	17.72	74.64	68.87
3	3	1	3	4	1	27.46	17.79	80.43	75.54
4	4	1	2	2	4	42.40	17.12	62.79	61.36
5	1	2	3	2	3	48.35	18.36	62.43	55.53
6	2	2	2	4	2	49.68	17.96	61.17	54.22
7	3	2	4	1	4	57.65	18.01	47.71	46.20
8	4	2	1	3	1	44.96	17.57	65.57	58.87
9	1	3	1	4	4	43.43	18.26	66.95	60.36
10	2	3	4	2	1	36.49	17.96	70.69	67.05
11	3	3	2	3	3	67.24	18.23	43.11	36.29
12	4	3	3	1	2	56.08	17.67	70.66	60.67
13	1	4	2	1	1	19.29	17.17	86.68	89.17
14	2	4	3	3	4	58.22	17.52	71.35	64.45
15	3	4	1	2	2	57.27	17.01	82.67	65.34
16	4	4	4	4	3	68.84	18.33	41.32	47.13
K1	72.14	70.97	70.57	70.57	70.48				
K2	71.16	71.90	70.47	70.45	70.99				
K3	71.04	72.12	71.34	71.66	72.64				
K4	70.69	70.02	72.65	72.34	70.91				
R	1.10	2.10	2.17	1.90	2.16				

表3 方差分析
Table 3 Analysis of variance

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F比	临界值
因素A	0.35	3	0.12	0.49	$F_{0.01}(3,12)=5.95$
因素B	0.54	3	0.18	0.76	
因素C	0.73	3	0.24	1.02	$F_{0.05}(3,12)=3.49$
因素D	0.67	3	0.22	0.95	
因素E	0.67	3	0.22	0.95	$F_{0.1}(3,12)=2.61$
误差	2.84	12	0.24		
合计	5.79	15			

2.8 较佳实验条件验证

捕收剂煤油用量 500 g/t，起泡剂仲辛醇用量 1 500 g/t，充气量为 0.25 m³/h，矿浆浓度 20 g/L，刮泡时间 9 min 作为较佳条件，对废轮胎裂解炭黑进行浮选较佳条件验证。获得了浮物产率为 62.32%，灰分为 17.29%，沉淀物的产率为 37.68%，灰分为 23.32% 的分选效果，此条件下石英脱除率 75.49%，碳酸钙脱除率 66.23%（见表 4）。

表4 热裂解炭黑主要杂质含量及其去除率
Table 4 Content and removal rate of Main impurity from pyrolysis carbon black

矿物成分	含量/%			去除率/%
	原料	浮物	沉物	
硫化锌	9.68	12.48	2.49	9.69
石英	3.86	1.21	7.72	75.49
碳酸钙	2.87	1.23	5.04	66.23

原料、浮物和沉物的 XRD 谱见图 9，可以看到，热裂解炭黑原料中主要含有石英、方解石和硫化锌等矿物质。经过浮选后，沉物中的石英、方解石峰值强度增加，特别是石英谱峰增加的特别显著，而硫化锌谱峰变化不明显，对硫化锌脱除效果不佳。这表明浮选过程中石英、方解石在沉物中得到了有效地富集。

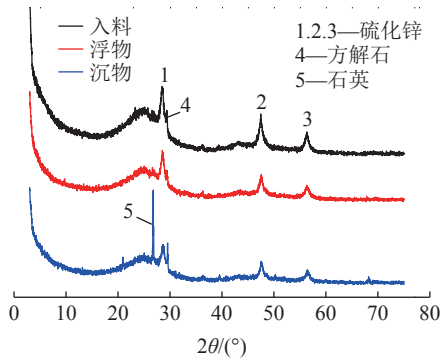
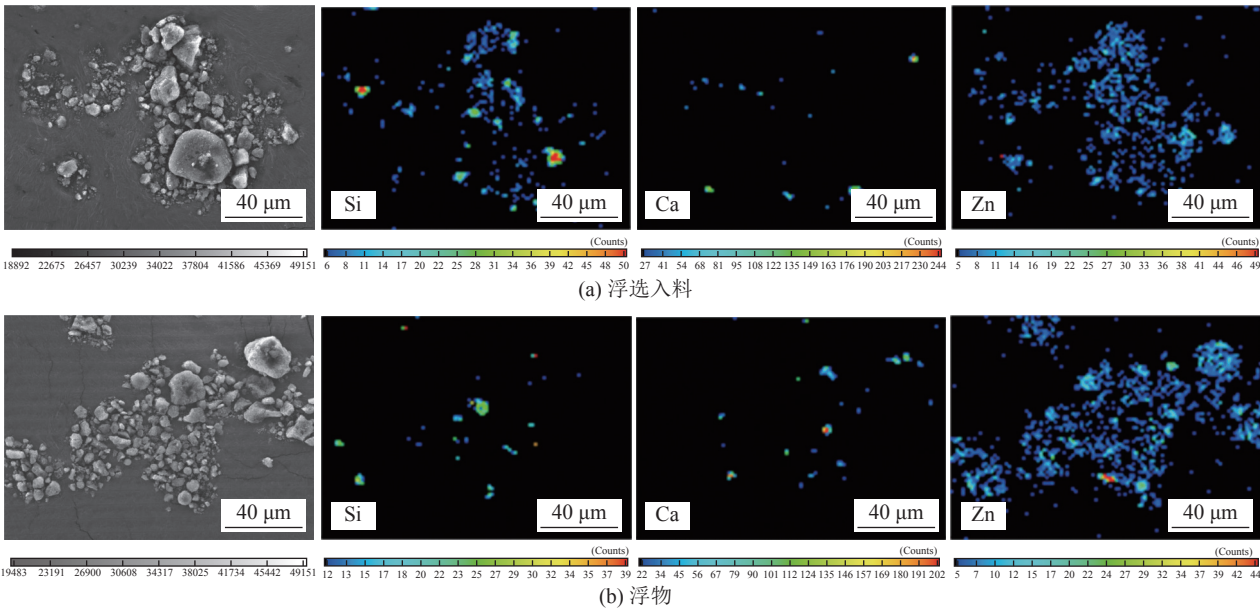


图9 热裂解炭黑浮选入料和产物的 XRD 对比
Fig.9 XRD spectra of the flotation feed and products from pyrolysis carbon black

炭黑入料、浮物和沉物 EPMA 分析见图 10，从三者的 Si 和 Ca 元素的 EPMA 对比图可以看到 SiO₂ 和 CaCO₃ 是在沉物中得到了明显的富集，特别是 SiO₂ 的富集效果较显著，这表明浮选对炭黑中的 SiO₂ 和 CaCO₃ 的去除效果很好，但是对 ZnS 的分选效果不明显，这个主要是由于 ZnS 和炭黑相互嵌布，而大部分 SiO₂、CaCO₃ 和炭黑之间的赋存状态却是相互独立存在的。



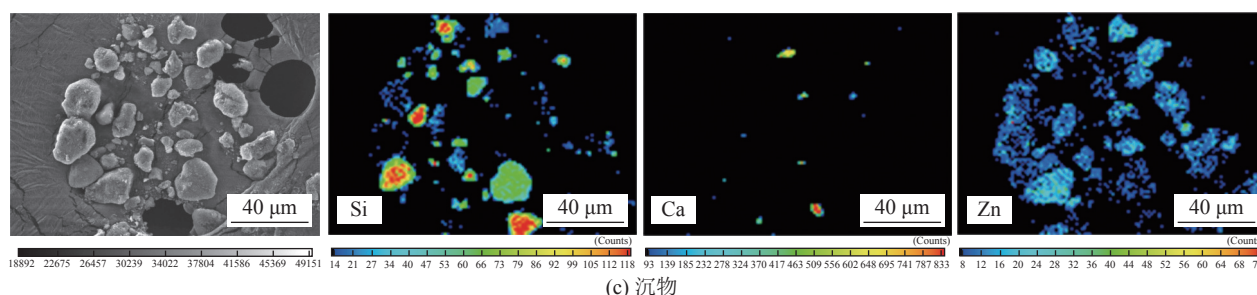


图 10 炭黑浮选产物和入料的 EPMA 分析

Fig.10 EPMA analysis of flotation feed and products of carbon black

3 结 论

(1) 物相分析和元素分析结果表明, 石英、方解石颗粒与 C 呈解离状态, 可通过浮选过程得到去除。

(2) 单因素和正交实验结果表明, 充气量对分选效果的影响较显著, 两种实验方法的较佳充气量分别为 $0.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 和 $0.25 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

(3) 较佳参数实验表明, 热裂解炭黑的浮选在捕收剂煤油用量 500 g/t , 起泡剂仲辛醇用量 1500 g/t , 充气量为 $0.25 \text{ m}^3/\text{h}$, 矿浆浓度 20 g/L , 刮泡时间 9 min 的条件下浮物灰分为 17.29% 、产率为 62.32% , 石英脱除率 75.49% , 碳酸钙脱除率 66.23% 。

(4) 硫化锌的浮选脱除效果不明显, 这是由于硫化锌颗粒和炭黑颗粒相互嵌布, 硫化锌会随着炭黑颗粒进入浮物难以分离, 后续将通过化学法对硫化锌进行脱除探索研究。

参考文献:

- [1] 葛瀚文, 董慧欣, 苏冠蓉, 等. 废旧轮胎热裂解残渣资源化利用工艺研究进展[J]. 再生资源与循环经济, 2019, 12(10):24-27.
- [2] GE H W, DONG H X, SU G R, et al. Research progress on the resource utilisation process of waste tyre thermal cracking residue[J]. Renewable Resources and Circular Economy, 2019, 12(10):24-27.
- [3] 曹婷雨, 黄烨, 左明波, 等. “黑色污染”及其防治对策探析[J]. 环保科技, 2020, 26(3):61-64.
- [4] CAO T Y, HUANG Y, ZUO M B, et al. Exploration of "black pollution" and its prevention and countermeasures[J]. Environmental Science and Technology, 2020, 26(3):61-64.
- [5] 蒋智慧, 刘洋, 宋永猛, 等. 废旧轮胎热解及热解产物研究展望[J]. 化工进展, 2021, 40(1):515-525.
- [6] JIANG Z H, LIU Y, SONG Y M, et al. Pyrolysis of waste tyres and pyrolysis products[J]. Progress of Chemical Industry, 2021, 40(1):515-525.
- [7] Zhang X, Li H, Cao Q, et al. Upgrading pyrolytic residue

from waste tires to commercial carbon black[J]. Waste Management & Research, 2018, 36(5):436-444.

[5] 覃刘平, 王黎, 鲁逸飞, 等. 稀土改性 NaY 型分子筛催化热解废轮胎[J]. 化工环保, 2020, 40(2):203-206.

QIN L P, WANG L, LU Y F, et al. Catalytic pyrolysis of waste tyres by rare earth modified NaY-type molecular sieves[J]. Chemical Environmental Protection, 2020, 40(2):203-206.

[6] 轩召民, 崔兆民, 王峰. 废旧轮胎热解炭黑应用研究[J]. 山东化工, 2020, 49(20):96-97+99.

XUAN Z M, CUI Z M, WANG F. Application research on pyrolysis carbon black from waste tyres[J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(20):96-97+99.

[7] Martínez J D, Cardona-Urbe N, Murillo R, et al. Carbon black recovery from waste tire pyrolysis by demineralization: Production and application in rubber compounding[J]. Waste Management, 2019, 85:574-584.

[8] 周园芳, 欧阳少波, 熊道陵, 等. 废轮胎热解炭黑灰渣中锌提取工艺[J]. 有色金属科学与工程, 2020, 11(6):10-17+77.

ZHOU Y F, OUYANG S B, XIONG D L, et al. Zinc extraction process from waste tyre pyrolysis carbon black ash[J]. Nonferrous Metal Science and Engineering, 2020, 11(6):10-17+77.

[9] 沈伯雄, 鲁锋, 朱国营, 等. 废轮胎热解炭黑及其改性后的特性研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(7):1615-1618.

SHEN B X, LU F, ZHU G Y, et al. Characteristics of carbon black from waste tyre pyrolysis and its modification[J]. Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(7):1615-1618.

[10] Zhong Ruipeng, Xu Jinjia, Hui David, et al. Pyrolytic preparation and modification of carbon black recovered from waste tyres[J]. Waste Management & Research: the Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, 2020, 38(1).

[11] 翟忠标, 牟兴兵, 刘俊场, 等. 烟煤浮选降灰实验研究[J]. 选煤技术, 2020(5):21-25.

ZHAI Z B, MOU X B, LIU J C, et al. Experimental study on ash reduction in bituminous coal flotation[J]. Coal Selection Technology, 2020(5):21-25.

[12] 朱一民. 2020 年浮选药剂的进展[J]. 矿产综合利用, 2021(2):102-118.

ZHU Y M. Development of flotation reagent in 2020[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(2):102-118.

Flotation of Pyrolysis Carbon Black from Waste Tires

Li Tao¹, Wang Shuai², Chen Wangyang¹, Jiang Haidi¹, Fu Yuanpeng¹

(1.School of Chemical Engineering & Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu, China; 2.Advanced Analysis & Computation Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu, China)

Abstract: This is an essay in the field of mineral processing engineering. The flotation method is applied to reduce ash content and purify pyrolysis carbon black from waste tires in this study. The effect of different operating factors on carbon black flotation was explored, and the phase and morphology of different flotation products were measured by various characterization methods. Results show that 62.32% yield of clean carbon black and 17.29% ash content for flotation concentrate were obtained, and 37.68% yield of flotation tailing and 23.32% ash content were obtained as well under the optimal flotation conditions were of 20 g/L of concentration, 500 g/t of collector, 1500 g/t of foaming agent, 9 min of froth skimming time and 0.25 m³/h of aeration amount, and the removal rate of quartz is 75.49% and the removal rate of calcium carbonate is 66.23%. Minerals including quartz and calcite were effectively removed by flotation, The amount of aeration had more significant impact on the test. This study indicates that flotation can be well used for reducing ash content of pyrolysis carbon black from waste tires which is proved to be an effective ash reduction pretreatment method.

Keywords: Mineral processing engineering; Waste tires; Pyrolysis carbon black; Flotation; Ash reduction and purification

////////////////////////////////////
(上接第 158 页)

Effect of Pretreatment Methods on the Yield of Humic Acid in Oxidized Coal

Si Jinfeng¹, Li Xingming²

(1.School of Metallurgy and Automotive Engineering, Shandong Vocational College of Industry, Zibo, Shandong, China; 2.Shanxi Lu'an Coal-Based Clean Energy Co., Ltd., Changzhi, Shanxi, China)

Abstract: This is an essay in the field of mineral processing engineering. During the mining and storage process of coal resources, a large amount of oxidized coal is formed, resulting in waste of coal resources and environmental pollution. Extracting humic acid from oxidized coal can achieve the goal of high-value utilization of oxidized coal resources. In order to further improve the content and utilization efficiency of humic acid in oxidized coal, this article uses three methods: H₂O₂ oxidation, concentrated H₂SO₄ oxidation, and reverse flotation to pretreat oxidized coal samples. The influence of these methods on the content of humic acid in oxidized coal was investigated, and the changes in oxygen-containing functional groups were analyzed using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The experimental results show that both oxidation and reverse flotation can improve the utilization efficiency of humic acid. After using H₂O₂ oxidation, the humic acid content in coal samples increases from 21.58% to 43.62%; After oxidation with concentrated H₂SO₄, the content of humic acid reached 48.51%, and the extraction rate of humic acid reached 81.08%. Extracting humic acid through reverse flotation treatment can remove some minerals, and humic acid is enriched in sediment. The extraction rate of humic acid is also improved. After oxidation treatment, the extracted humic acid has an increase in oxygen-containing groups and enhanced hydrophilicity.

Keywords: Mineral processing engineering; Oxidized coal; Humic acid; Extraction rate; Oxidation; Flotation