

昭通褐煤浮选及腐植酸提取实验

陈鹏¹, 白新伟¹, 李远², 张谏虎¹, 王市委¹, 陈瑶瑶¹

(1. 六盘水师范学院 化学与材料工程学院, 贵州 六盘水 553004; 2. 贵州省煤炭产品质量监督检验院, 贵州 六盘水 553000)

摘要: 这是一篇矿物加工工程领域的论文。腐植酸是昭通褐煤的重要组成部分, 为了高效地提取腐植酸, 采用正浮选、反浮选工艺探索了昭通褐煤的较优浮选条件, 并分别利用氧解法、碱溶酸析法设计正交实验, 对浮选精煤进行腐植酸提取, 探索了腐植酸提取的较优条件。实验结果表明: 正浮选捕收剂消耗量大, 在司盘 80 进行表面改性的条件下, 浮选精煤产率较高为 26.64%, 灰分较低为 20.08%; 反浮选较佳条件为十二胺 5 kg/t、糊精 3 kg/t、起泡剂 260 g/t, 较佳浮选指标为浮选精煤产率 84.35%、灰分 20.52%, 浮选尾煤产率 15.65%、灰分 36.75%, 浮选完善指标 12.08; 氧解法较佳的提取条件为 H₂O₂ 浓度 0.7 mol/L、H₂O₂ 活化时间 35 min、NaOH 浓度 0.3 mol/L、NaOH 浸泡时间 30 min, 腐植酸提取率 37.14%; 碱溶酸析法较佳的提取条件为 HCl 浓度 10%、HCl 活化时间 30 min、NaOH 浓度 0.7 mol/L、NaOH 浸泡时间 30 min, 提取率 43.80%。反浮选相对正浮选可以获得更高产率的高灰浮选精煤, 碱溶酸析法提取昭通褐煤的腐植酸时, 提取率更高。

关键词: 矿物加工工程; 昭通褐煤; 正浮选; 反浮选; 腐植酸; 提取流程

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2023.06.026

中图分类号: TD94:TQ536.9 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2023)06-0169-07

褐煤作为一种低阶煤, 因其变质程度低, 不适于炼焦, 主要用于燃烧发电、煤化工原料等^[1-3]。腐植酸是褐煤的主要组成部分, 目前已被广泛应用于农业、石油、化工、医药卫生等领域^[4]。云南省昭通市拥有大量的褐煤资源, 但是利用率较低^[5], 开展昭通褐煤分选及腐植酸提取研究工作显得尤为重要。

褐煤表面含有大量的含氧官能团, 亲水性强, 采用常规药剂浮选, 药剂消耗量大, 可燃体回收率低^[6]。目前, 研究人员主要利用磨矿、加热或微波处理、超声处理及表面活性剂, 对褐煤进行表面改性, 进而降低褐煤浮选时捕收剂的用量^[7]。褐煤中腐植酸提取方法主要有碱溶酸析法、氧解法、催化法及离子交换法, 其中前两种方法简单高效^[8]。

昭通褐煤具有内灰高的特点, 不利于腐植酸的提取。本文利用司盘 80 对褐煤表面改性, 然后利用常规药剂进行正浮选, 同时进行反浮选实验, 并对两种实验结果进行对比; 然后, 利用碱溶酸析法和氧解法, 对浮选精煤进行腐植酸提取实验。采用先浮选后提取腐植酸的方法, 将有效降低腐植酸提取过程中固体物料的处理量, 以期作为昭通褐煤腐植酸的提取提供借鉴。

1 煤样性质与实验

1.1 实验煤样和性质

浮选实验所用褐煤煤样取自云南省昭通市, 经破碎、磨矿及筛分而来。浮选效果的好坏, 除与煤炭表面性质密切相关之外, 还受粒度组成、密度组成等煤泥性质的影响。因此, 了解煤泥的

收稿日期: 2021-04-02

基金项目: 贵州省教育厅自然科学基金资助项目(黔教合 KY 字[2019]140); 六盘水市重点实验室(52020-2019-05-04, 52020-2019-05-06); 六盘水师范学院自然科学基金项目(LPSSY201901, LPSSY201802); 六盘水师范学院硕士学位点培育项目(LPSSYSSDPY201702); 六盘水师范学院卓越人才培养计划项目(LPSSYzyjpyjh202001); 六盘水师范学院教学改革项目(LPSSYjg2016)

作者简介: 陈鹏(1987-), 男, 副教授, 主要从事矿物加工与矿物材料方面的研究。

粒度组成与密度组成，对于浮选设备、浮选药剂的选择至关重要。

1.1.1 粒度组成

依据 GB/T 477-2008 对浮选所用煤样进行小筛分实验，煤泥粒度组成见表 1。由表 1 可知，0.25~0.50 mm 粒级的产率为 35.21%，灰分为 22.59%，为主导粒级；0.25~0.50、0.125~0.25、0.075~0.125 以及 0.075~0.045 mm 粒级的产率有所差异，但灰分基本一致；-0.045 mm 粒级的产率为 13.74%，灰分为 27.68%，该粒级灰分较其他粒级高 5 个百分点左右。初步判断该煤泥适于浮选机浮选^[9]，微细泥的产率较高，灰分不是较高，将对浮选效果产生一定影响。

表 1 昭通褐煤煤泥粒度组成

粒级/mm	产率/%	灰分/%	筛上累计		筛下累计	
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
-0.50+0.25	35.21	22.59	35.21	22.59	100.00	23.29
-0.25+0.125	19.42	22.41	54.63	22.53	64.79	23.67
-0.125+0.075	18.31	22.76	72.94	22.58	45.37	24.21
-0.075+0.045	13.32	22.64	86.26	22.59	27.06	25.20
-0.045	13.74	27.68	100.00	23.29	13.74	27.68
合计	100.00	23.29				

1.1.2 密度组成

依据国标 GB/T 478-2008 对浮选所用煤样进行小浮沉实验，煤泥密度组成见表 2。由表 2 可知，煤泥中<1.30 g/cm³ 密度级的产率为 29.25%，灰分为 19.53%，该煤泥无法选出较高产率的低灰精煤；1.3~1.4 g/cm³ 密度级的产率为 55.63%，灰分为 21.11%，该密度级为主导密度级；其他密度级的灰分，明显高于上述两个密度级；<1.40 g/cm³ 密度级的累计产率为 84.88%，灰分为 20.57%，初步判断该煤泥能选出较高产率的高灰精煤。

表 2 昭通褐煤煤泥密度组成

密度级/(g/cm ³)	产率/%	灰分/%	浮物累计		沉物累计	
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
<1.30	29.25	19.53	29.25	19.53	100.00	23.58
1.30~1.40	55.63	21.11	84.88	20.57	70.75	25.26
1.40~1.50	6.58	28.46	91.46	21.13	15.12	40.53
1.50~1.60	2.91	36.47	94.37	21.61	8.54	49.84
1.60~1.80	2.13	46.08	96.50	22.15	5.63	56.75
>1.80	3.50	63.24	100.00	23.58	3.5	63.24
小计	100.00	23.58				

1.2 昭通褐煤煤泥浮选实验

褐煤表面含氧官能团多，亲水性强，需对其表面进行改性后浮选，以便减少捕收剂用量。此外，反浮选也是褐煤浮选的常用方法^[10-12]。为了对比昭通褐煤正、反浮选效果，进行分别进行正浮选与反浮选实验。

1.2.1 正浮选实验

昭通褐煤正浮选工艺流程见图 1。用司盘 80 对褐煤进行表面改性，采用多因素逐项实验法，分别探索司盘 80 的用量及捕收剂用量，对浮选效果的影响。首先，固定起泡剂用量为 260 g/t，捕收剂用量为 20 kg/t，改变司盘 80 的用量，分别为 20、30 及 40 kg/t，探索司盘 80 的较优用量。然后，固定探索到的司盘 80 用量，起泡剂、矿浆浓度与上述实验一致，改变捕收剂用量，分别为 20、40 及 60 kg/t。

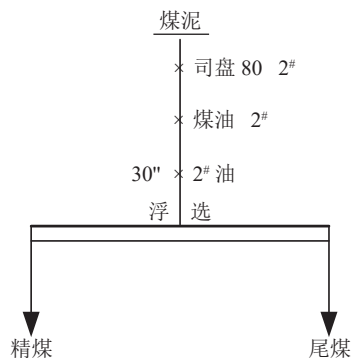


图 1 昭通褐煤正浮选流程

Fig.1 Positive flotation process of Zhaotong lignite

1.2.2 反浮选实验

昭通褐煤反浮选工艺流程见图 2。利用多因素逐项实验对捕收剂十二胺用量、抑制剂糊精用量、起泡剂用量进行初步探索。首先，固定糊精用量为 3 kg/t，起泡剂用量为 260 g/L，改变十二胺用量，分别为 5、7、9 kg/t，确定十二胺的较优用量。然后，固定探索到的十二胺较优用量，改变糊精用量，分别为 1、3、5 kg/t，确定糊精的较优用量。较后，固定探索到的十二胺与糊精较优用量，改变起泡剂用量分别为 130、260、390 g/t，确定起泡剂的较优用量。

在上述实验基础上进行正交实验，探索十二胺、糊精及起泡剂的较佳用量。

1.3 浮选精煤腐植酸提取实验

分别利用碱溶酸析法、氧解法探索浮选精煤腐植酸提取的较佳条件。

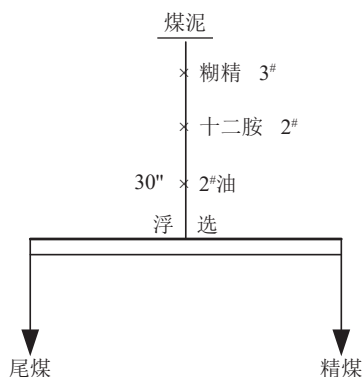


图2 昭通褐煤反浮选流程
Fig.2 Reverse flotation process of Zhaotong lignite

1.3.1 碱溶酸析法腐植酸提取实验

碱溶酸析法提取腐植酸的流程见图3。浮选精煤经盐酸溶液活化后，过滤所得固体经氢氧化钠溶液浸泡，再过滤所得溶液，利用盐酸调节pH值至2，过滤所得固体即为腐植酸。

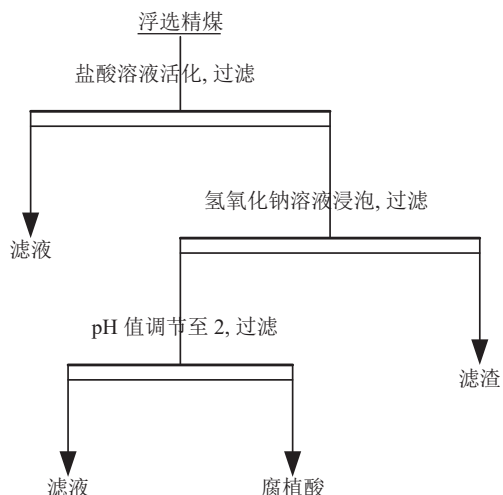


图3 碱溶酸析法腐植酸提取流程
Fig.3 Process of humic acid extraction by alkali solution-acid separation

1.3.2 氧解法腐植酸提取实验

氧解法提取腐植酸的流程见图4。浮选精煤经双氧水活化后，过滤所得固体经盐酸溶液活化，再过滤所得固体，经氢氧化钠溶液浸泡，过滤所得溶液，利用盐酸调节pH值至2，过滤所得固体即为腐植酸。

1.3.3 腐植酸提取率

腐植酸提取率计算公式^[13]，见式(1)：

$$\text{腐植酸提取率} = \frac{m_1 - m_2}{m(m_1 - A_d)} \times 100\% \quad (1)$$

式中： m_1 为浮选精煤活化干燥后的质量，g； m_2 为氢氧化钠溶液浸泡后滤渣的质量，g； m 为浮

选精煤的质量，g； A_d 为浮选精的灰分，%。

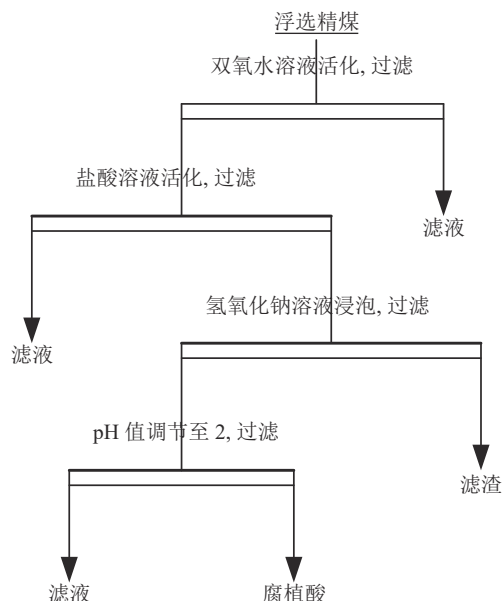


图4 氧解法腐植酸提取流程
Fig.4 Process of humic acid extraction by oxygen decomposition

2 实验结果与分析

2.1 浮选实验结果分析

2.1.1 正浮选实验结果分析

昭通褐煤煤泥表面改性浮选实验结果见表3。由表3可知，在捕收剂用量为20 kg/t，起泡剂用量为260 g/t时，随着司盘80用量由20到40 kg/t增加的过程中，浮选精煤产率提高了3.19%，灰分降低了0.50%，精煤产率提高与灰分降低均不明显，各浮选尾煤灰分差距不大；当司盘80用量为40 kg/t，起泡剂用量为260 g/t时，随着捕收剂用量由20到60 kg/t增加的过程中，浮选精煤产率提高了15.40%，较高产率为26.64%，结合表2可知，浮选精煤产率低，灰分降低了0.87%，灰分降低不明显。利用司盘80进行表面改性浮选，不能在捕收剂较低用量的条件下，获取高产率的高灰浮选精煤。

2.1.2 反浮选实验结果分析

昭通褐煤煤泥反浮选条件初步探索实验结果见表4。由表4可知，当抑制剂糊精用量为3 kg/t，起泡剂用量为260 g/t时，随着十二胺用量的改变，浮选完善指标先减小后增加，但变化不大。当十二胺用量为7 kg/t时，浮选精煤产率明显偏低。十二胺用量5 kg/t时，浮选精煤产率明显高

表 3 昭通褐煤煤泥正浮选实验结果
Table 3 Positive flotation test results of Zhaotong lignite slime

司盘80 /(kg/t)	捕收剂 /(kg/t)	起泡剂 /(g/t)	浮选精煤/%		浮选尾煤/%		计算煤泥 灰分/%
			γ	Ad	γ	Ad	
20			8.67	22.43	91.33	23.64	23.54
30	20	260	10.02	22.35	89.98	23.31	23.21
40			11.86	21.93	88.14	23.42	23.24
	20		11.24	22.02	88.76	23.81	23.61
40	40	260	12.96	20.08	87.04	23.87	23.38
	60		26.64	21.15	73.36	23.98	23.23

且其浮选完善指标相对较小，故初步确定十二胺用量 9 kg/t 较优。当十二胺用量为 9 kg/t，起泡剂用量为 260 g/t 时，随着抑制剂糊精用量的改变，浮选完善指标先增大后减小，较大为 11.15%，且此时浮选精煤的产率较高，灰分较低，浮选尾煤会分较高，故初步确定糊精用量 3 kg/t 较优。当十二胺用量为 9 kg/t，糊精用量为 3 kg/t 时，随着起泡剂用量的增加，浮选完善指标先减小后增加，较大为 12.14%，且此时浮选精煤产率较高，灰分较低，故初步确定起泡剂用量 130 g/t 较优。

于十二胺用量为 9 kg/t 时，但是其灰分也高 0.39%，

表 4 昭通褐煤煤泥反浮选多因素逐项实验结果
Table 4 Multi - factor test results of reverse flotation of Zhaotong lignite slime

十二胺/(kg/t)	糊精/(kg/t)	起泡剂/(g/t)	精煤/%		尾煤/%		计算煤泥灰分/%	浮选完善指标
			γ	Ad	γ	Ad		
5			82.62	21.01	17.38	33.07	23.11	9.75
7	3	260	66.83	20.65	33.17	27.88	23.05	9.04
9			71.59	20.63	28.41	29.89	23.26	10.55
	1		63.48	21.11	36.52	26.75	23.17	7.35
9	3	260	72.98	20.63	27.02	30.75	23.36	11.15
	5		71.59	20.62	28.41	29.62	23.18	10.28
		130	81.02	20.53	18.98	34.6	23.20	12.14
9	3	260	71.59	20.63	28.41	29.05	23.02	9.66
		390	75.93	20.77	24.07	31.24	23.29	10.71

昭通褐煤煤泥反浮选条件正交实验结果见表 5，采用浮选完善指标评价浮选效果。由表 5 可知，各因素主次顺序为糊精用量>十二胺用量>起泡剂用量；各因素的较佳水平为十二胺用量 5 kg/t，糊精用量 3 kg/t，起泡剂用量 260 g/t，同时各因素的较佳水平也组成了昭通褐煤煤泥浮选较佳条件

搭配。该条件下获得的浮选指标：浮选精煤产率为 84.35%、灰分为 20.52%，浮选尾煤产率为 15.65%、灰分为 36.75%，浮选完善指标为 12.08。利用反浮选方法浮选昭通褐煤煤泥，可以获取较高产率的高灰浮选精煤。

表 5 昭通褐煤煤泥反浮选正交实验结果
Table 5 Orthogonal test results of reverse flotation of Zhaotong lignite slime

实验序号	十二胺/(kg/t)	糊精/(kg/t)	起泡剂/(g/t)	精煤/%		尾煤/%		计算煤泥灰分/%	浮选完善指标
				γ	Ad	γ	Ad		
1	5	1	130	82.29	21.04	17.71	32.52	23.07	9.43
2	5	3	260	84.35	20.52	15.65	36.75	23.06	12.08
3	5	5	390	85.78	20.97	14.22	36.03	23.11	10.34
4	7	1	390	83.05	21.15	16.95	32.79	23.12	9.22
5	7	3	130	81.52	21.02	18.48	33.04	23.24	10.15
6	7	5	260	86.49	21.15	13.51	34.72	22.98	8.96
7	9	1	260	66.86	20.98	33.14	27.97	23.30	8.67
8	9	3	390	82.34	20.91	17.66	33.03	23.05	9.94
9	9	5	130	84.97	21.26	15.03	32.92	23.01	8.41

实验序号	十二胺/(kg/t)	糊精/(kg/t)	起泡剂/(g/t)	精煤/%		尾煤/%		计算煤泥灰分/%	浮选完善指标
				γ	Ad	γ	Ad		
K ₁	31.84	27.31	27.98						
K ₂	28.33	32.16	29.70						
K ₃	27.01	27.70	29.49						
极差	4.83	4.85	1.72						
主次顺序	糊精>十二胺>起泡剂								
各因素较佳水平	5	3	260						
较佳水平搭配	5	3	260						

2.2 腐植酸提取实验结果分析

2.2.1 碱溶酸析法较佳提取条件

碱溶酸析法提取浮选精煤腐植酸，实验结果见表 6。由表 6 可知，腐植酸的提取率较低为 3.52%，较高为 32.69%；影响腐植酸提取率的主次

顺序为 NaOH 浸泡时间>HCl 活化时间>NaOH 浓度>HCl 浓度；各因素的较佳水平分别为 HCl 浓度 10%、HCl 活化时间 30 min、NaOH 浓度 0.7 mol/L、NaOH 浸泡时间 30 min；经实验验证各因素较佳水平即为较佳水平搭配，此时腐植酸提取率为 43.80%。

表 6 碱溶酸析法腐植酸提取正交实验结果

Table 6 Orthogonal test results of humic acid extraction by alkali-soluble acid separation

实验序号	HCl浓度/%	HCl活化时间/min	NaOH浓度/(mol/L)	NaOH浸泡时间/min	提取率/%
1	5	20	0.7	40	22.73
2	5	25	0.1	20	3.52
3	5	30	0.5	50	27.91
4	5	35	0.3	30	18.5
5	10	20	0.5	30	21.54
6	10	25	0.3	50	14.06
7	10	30	0.7	20	30.03
8	10	35	0.1	40	21.49
9	15	20	0.1	50	5.68
10	15	25	0.7	30	32.69
11	15	30	0.3	40	21.56
12	15	35	0.5	20	21.89
13	20	20	0.3	20	23.27
14	20	25	0.5	40	17.58
15	20	30	0.1	30	29.9
16	20	35	0.7	50	4.12
K ₁	72.66	73.22	60.59	78.71	
K ₂	87.12	67.85	77.39	102.63	
K ₃	81.82	109.40	88.92	83.36	
K ₄	74.87	66.00	89.57	51.77	
极差	14.46	43.40	28.98	50.86	
主次顺序	NaOH浸泡时间>HCl活化时间>NaOH浓度>HCl浓度				
较佳水平	10	30	0.7	30	
较佳水平搭配	10	30	0.7	30	

注：较佳水平搭配经验证而来。

2.2.2 氧解法较佳提取条件

氧解法提取浮选精煤腐植酸，实验结果见表 7。由表 7 可知，腐植酸的提取率较低为 4.29%，较高为 28.36%；影响氧解法腐植酸提取率的因素的主次顺序为 NaOH 浓度>H₂O₂ 活化时间>NaOH 浸泡

时间>H₂O₂ 浓度；H₂O₂ 浓度为 0.7 mol/L，H₂O₂ 活化时间为 35 min，NaOH 浓度为 0.3 mol/L，NaOH 浸泡时间为 30 min；经实验验证各因素较佳水平即为较佳水平搭配，此时腐植酸的提取率为 37.14%。

表 7 氧解法腐植酸提取正交实验结果
Table 7 Orthogonal test results of humic acid extraction by oxylysis

实验序号	H ₂ O ₂ 浓度/(mol/L)	H ₂ O ₂ 活化时间/min	NaOH浓度/(mol/L)	NaOH浸泡时间/min	提取率/%
1	0.1	20	0.7	40	18.81
2	0.1	25	0.1	20	5.10
3	0.1	30	0.5	50	24.80
4	0.1	35	0.3	30	25.29
5	0.3	20	0.5	30	20.89
6	0.3	25	0.3	50	26.80
7	0.3	30	0.7	20	4.29
8	0.3	35	0.1	40	27.52
9	0.5	20	0.1	50	5.55
10	0.5	25	0.7	30	28.36
11	0.5	30	0.3	40	21.99
12	0.5	35	0.5	20	26.44
13	0.7	20	0.3	20	27.23
14	0.7	25	0.5	40	16.62
15	0.7	30	0.1	30	16.30
16	0.7	35	0.7	50	27.77
K ₁	74.00	72.48	54.47	63.06	
K ₂	79.50	76.88	101.31	90.84	
K ₃	82.34	67.38	88.75	84.94	
K ₄	87.92	107.02	79.23	84.92	
极差	13.92	39.64	46.84	27.78	
主次顺序		NaOH浓度>H ₂ O ₂ 活化时间>NaOH浸泡时间>H ₂ O ₂ 浓度			
较佳水平	0.7	35	0.3	30	
较佳水平搭配	0.7	35	0.3	30	

注：较佳水平搭配经验证而来。

在浮选精煤腐植酸提取过程中，碱溶酸析法比氧解法能获得更高的提取率，且碱溶酸析法提取流程更简单；而浮选精煤的灰分较高是造成腐植酸提取率较低的主要原因。

3 结 论

(1) 利用司盘 80 对昭通褐煤煤泥进行表面改性，然后浮选，不能获得较高的浮选精煤产率；而利用十二胺作捕收剂、糊精作抑制剂，进行反浮选，可以获得较高产率的高灰浮选精煤。

(2) 昭通褐煤煤泥反浮选的较佳条件为：十二胺 5 kg/t、糊精 3 kg/t、起泡剂 260 g/t，较佳浮选指标为浮选精煤产率 84.35%、灰分 20.52%，浮选尾煤产率 15.65%、灰分 36.75%，浮选完善指标 12.08。

(3) 氧解法较佳的提取条件为 H₂O₂ 浓度 0.7 mol/L、H₂O₂ 活化时间 35 min、NaOH 浓度 0.3 mol/L、NaOH 浸泡时间 30 min，腐植酸提取率 37.14%；碱溶酸析法较佳的提取条件为 HCl 浓度

10%、HCl 活化时间 30 min、NaOH 浓度 0.7 mol/L、NaOH 浸泡时间 30 min，提取率 43.80%。

(4) 碱溶酸析法比氧解法能获得更高的提取率，且碱溶酸析法提取流程更简单。

参考文献：

- [1] 周云龙, 姚灏, 王迪, 等. 褐煤预干燥发电机组特性仿真对比及投资经济性分析[J]. 热能动力工程, 2021, 36(1):100-107. ZHOU Y L, YAO H, WANG D, et al. Simulation comparison and investment economy analysis of generation units with lignite pre-drying system[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2021, 36(1):100-107.
- [2] 杨芊, 杨晓龙, 刘佳金, 等. 褐煤作为气化原料在煤化工企业中的应用[J]. 煤炭加工与综合利用, 2020(6):51-54+58+5. YANG Q, YANG X L, LIU J J, et al. Application of lignite as gasification raw material in coal chemical enterprises[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2020(6):51-54+58+5.
- [3] 李建涛, 刘向荣, 杨杰, 等. 真菌筛选及降解光-氧化褐煤工艺条件优化研究[J]. 矿产综合利用, 2020(5):82-86+157. LI J T, LIU X R, YANG J, et al. Screening of fungi and condition optimization for biodegradation of photooxidized lignite[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources,

2020(5):82-86+157.

[4] 张传祥, 张效铭, 程敢. 褐煤腐植酸提取技术及应用研究进展[J]. 洁净煤技术, 2018, 24(1):6-12.

ZHANG C X, ZHANG X M, CHENG G. Research progress on extraction technology and application of lignite humic acid[J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(1):6-12.

[5] 张远琴, 李艳红, 常丽萍, 等. 昭通褐煤制备农业腐植酸的提取工艺条件优化[J]. 化学世界, 2021, 62(3):176-182.

ZHANG Y Q, LI Y H, CHANG L P, et al. Optimization of extraction process conditions for preparing agricultural humic acid from Zhaotong lignite[J]. Chemical World, 2021, 62(3):176-182.

[6] 桂夏辉, 邢耀文, 连露露, 等. 煤泥浮选过程强化之三——低阶/氧化煤浮选界面强化篇[J]. 选煤技术, 2017(3):87-91+96.

GUI X H, XING Y W, LIAN L L, et al. Fine coal flotation process intensification-part III: interface intensification of low-rank and oxidized coal[J]. Coal Preparation Technology, 2017(3):87-91+96.

[7] Cheng Gan, Li Ziyou, Cao Yijun, et al. Research progress in lignite flotation intensification[J]. International Journal of Coal Preparation and Utilization, 2020, 40(1):59-76.

[8] Kurniati E, Muljani S, Virgani D G, et al. Humic acid isolations from lignite by ion exchange method[J]. Journal of Physics Conference, 2018, 953:012234.

[9] 谢才秀, 张永菊, 龙涛, 等. 不同实验设计方法在高灰分煤泥浮选优化实验中的应用[J]. 矿产综合利用, 2021(1):72-76+56.

XIE C X, ZHANG Y J, LONG T, et al. The application of different experimental design method in the flotation optimization experiments of high ash coal slime[J]. Multi-purpose Utilization of Mineral Resources, 2021(1):72-76+56.

[10] 宁可佳, 崔家画, 徐宏祥, 等. 褐煤反浮选试验工艺研究[J]. 矿业科学学报, 2021, 6(2):207-215.

NING K J, CUI J H, XU H X, et al. Lignite reverse flotation test process and mechanism[J]. Journal of Mining Science and Technology, 2021, 6(2):207-215.

[11] Temel H A. Removal of gangue minerals containing major elements from karl A+/-ova-Der double dagger ay (bingol) lignite using a reverse flotation method[J]. JOM:the journal of the Minerals, Metals & Materials Society, 2015, 67(12):3002-3009.

[12] Zhang H, Liu J, Cao Y, et al. Effects of particle size on lignite reverse flotation kinetics in the presence of sodium chloride[J]. Powder Technology, 2013, 246:658-663.

[13] 郭雅妮, 马畅柠, 惠璠, 等. 风化煤中腐植酸的提取及其性能表征[J]. 环境工程学报, 2017, 11(5):3153-3160.

GUO Y N, MA C N, HUI P, et al. Humic acid extraction from weathered coal and its properties characterization[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2017, 11(5):3153-3160.

Flotation and Humic Acid Extraction Test of Zhaotong Lignite

Chen Peng¹, Bai Xinwei¹, Li Yuan², Zhang Chenhu¹, Wang Shiwei¹, Chen Yaoyao¹

(1.School of Chemistry and Materials Engineering, Liupanshui Normal University, Liupanshui, Guizhou, China; 2.Guizhou Coal Product Quality Supervision and Inspection Institute, Liupanshui, Guizhou, China)

Abstract: This is an essay in the field of mineral processing engineering. Humic acid is an important part of Zhaotong lignite. In order to extract humic acid efficiently, the optimum flotation conditions of Zhaotong lignite were explored by using the process of direct flotation and reverse flotation. Orthogonal experiments were designed by using the method of oxygen decomposition and alkali solution-acid separation to extract humic acid from flotation cleaned coal, and the optimal conditions of humic acid extraction were explored. The results show that the positive flotation collector consumption is large, and under the condition of surface modification of Span 80, the flotation cleaned coal yield is the highest of 26.64% and ash content is the lowest of 20.08%; the optimum conditions of reverse flotation are laurylamine 5 kg/t, dextrin 3 kg/t and foaming agent 260 g/t, and the optimum flotation indexes are as follows: flotation cleaned coal yield 84.35% and ash 20.52%, flotation tailcoal yield 15.65% and ash 36.75%, and flotation perfection index 12.08; the optimum extraction conditions of oxygen decomposition are as follows: H₂O₂ concentration 0.7 mol/L, H₂O₂ activation time 35 min, NaOH concentration 0.3 mol/L, NaOH soaking time 30 min, and the extraction rate of humic acid 37.14%; the optimal extraction conditions of alkali-soluble acid chromatography are as follows: concentration of hydrochloric acid 10%, activation time of hydrochloric acid 30 min, NaOH concentration 0.7 mol/L, NaOH soaking time 30 min, and the extraction yield 43.80%. Reverse flotation can obtain higher yield of high ash flotation clean coal than normal flotation, and the extraction rate is higher when the humic acid of Zhaotong lignite is extracted by alkali solution-acid separation method.

Keywords: Mineral processing engineering; Zhaotong lignite; Direct flotation; Reverse flotation; Humic acid; Extraction process