

# 中煤泥破碎解离特性与再选试验研究

孙先凤,马力强,于跃先,刘旭阳,李露皮,瑞,徐宏祥

(中国矿业大学(北京) 化学与环境工程学院 北京 100083)

**摘要:**为充分回收炼焦中煤中的精煤,以重选中煤沉降离心机产品作为解离再选试验对象,通过筛分、破碎、浮沉、分步释放浮选试验研究了其再选可能性,并用偏光显微镜观察了破碎前后煤中矿物质的嵌布状态。试验结果表明:该煤样最佳的破碎粒度为0.3 mm,此时,煤样中的有机质与黄铁矿及石英得到有效解离,但有机质与黏土矿物并没有得到明显解离,该连生体易在浮选过程中造成浮选精煤灰分偏高。小浮沉试验表明,当精煤灰分为11.00%时,其理论精煤产率为50.00%。一粗一精浮选试验表明,当柴油用量为1 kg/t,仲辛醇用量为0.1 kg/t时,经一粗一精浮选后可以得到灰分为10.57%,产率为46.47%的精煤产品。

**关键词:**炼焦中煤;中煤泥破碎;中煤泥再选;煤泥浮选;矿物质嵌布

中图分类号:TD94 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2017)02-0215-07

## Study on crushing liberation characteristics and re-preparation experiment of middlings slime

Sun Xianfeng, Ma Liqiang, Yu Yuexian, Liu Xuyang, Li Lu, Pi Rui, Xu Hongxiang

(School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to fully recover clean coal from coking middlings, taking the product of middlings of heavy separation sedimentation centrifuge as the study object, the possibility of re-preparation of middlings was analyzed by carrying out a series of tests, including screening, comminution, float-and-sink separation, and progressive released flotation experiment. The mineral dissemination characteristics before and after crushing were observed by the polarized microscopy. The experimental results show that the optimum comminution size is 0.3 mm, in this case, the organic matters are liberated well with the inorganic matters, such as pyrite and quartz. However, the clay minerals are not liberated well from organic matters, which may cause a higher ash content for the concentrate during the floatation. The float-and-sink test shows that the theoretical yield of the concentrate is 50.00% corresponding to the ash content of 11.00%. The rougher-cleaning flotation experiment show that when the dosage of diesel oil is 1 kg/t and the dosage of 2-Octanol is 0.1 kg/t, the ash content of the concentrate is 10.57% and the yield is 46.47%.

**Key words:** coking middlings; middlings slime comminution; middlings slime re-preparation; slime floatation; mineral dissemination

## 0 引言

虽然我国的煤炭储量丰富,但煤种分布比例差别大,炼焦用煤仅占27.6%,而且大多数为气煤,占炼焦煤的46.9%<sup>[1]</sup>。炼焦中煤作为选煤副产品通常作为火力发电的燃料而直接烧掉,是对我国炼焦煤资源的浪费。近年来从炼焦中煤中再回收精煤得

到了越来越多的关注,许多学者也对此做了大量研究。文献[2-3]以淮北选煤厂重介选中煤为研究对象,对煤样的物相组成和不同密度级煤样的矿物嵌布特征进行了分析并确定了合理的破碎粒度。结果表明:将煤样破碎至0.5 mm可达到较好的解离效果,通过分步释放浮选试验得到产率22.05%、灰分12.93%的精煤。李萍等<sup>[4]</sup>对赵各庄选煤厂1.40~

收稿日期:2016-10-19;责任编辑:代艳玲 DOI:10.13199/j.cnki.est.2017.02.036

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(51604280)

作者简介:孙先凤(1990—),女,山东济宁人,硕士研究生。通讯作者:马力强,教授,博士生导师,Tel:010-62331538,E-mail:mlqiang@sina.com

引用格式:孙先凤,马力强,于跃先,等.中煤泥破碎解离特性与再选试验研究[J].煤炭科学技术,2017,45(2):215-221.

Sun Xianfeng, Ma Liqiang, Yu Yuexian, et al. Study on crushing liberation characteristics and re-preparation experiment of middlings slime [J].

Coal Science and Technology, 2017, 45(2): 215-221.

1.60 g/cm<sup>3</sup> 密度级中煤为研究对象,对其进行浮沉试验进而对各密度级进行细磨,采用絮团-浮选工艺回收各密度级中的低灰精煤。结果表明:在相同的分选密度下,总精煤灰分可以降到8.14%以下,产率为60%左右。陈占文等<sup>[5]</sup>对邢台矿选煤厂中煤进行了筛分、浮沉试验和破碎后3~0.5 mm粒级的浮沉试验。结果表明:邢台矿选煤厂现有的中煤经过破碎解离后能释放出部分精煤。文献[6~7]分别以七台河桃山选煤厂、杏花选煤厂中煤为研究对象,对其破碎至6 mm以下,对破碎的中煤用螺旋分选机分选,或对破碎后的中煤进一步超细磨(10~20 μm)后采用疏水絮凝-浮选法回收其中的精煤。张磊等<sup>[8]</sup>以马头选煤厂重介选中煤(粒级50~0 mm,灰分36.63%)为研究对象,对其进行了破碎、大锥角旋流器分选以及分步释放浮选试验,结果表明:对于嵌布粒度细的马头中煤,采用大锥角旋流器难以得到有效分选;采用分步释放浮选试验可以得到灰分为13.40%,产率为12.85%的精煤。赵闻达等<sup>[9]</sup>以内蒙古乌海矿区分选中煤为研究对象,通过破碎、筛分、浮沉等试验,确定采用中煤破

碎-TBS再选工艺,得到产率58.63%,灰分11.08%的精煤产品。中煤再选在工业实践也有较多应用,如梁北选煤厂利用TBS分选+浮选的工艺对中煤进行了破碎后再选,使精煤产率提高了3.28%,获得了良好的经济效益<sup>[10]</sup>。屯兰选煤厂中煤采取“阶段解离、梯级分选、深度细磨、区别回收”的方案,可最大限度地回收其中精煤,在要求灰分为10.50%时,可获得产率为27.78%的精煤<sup>[11]</sup>。现有的中煤再选对象主要为块中煤,而对重介选中煤沉降离心机产品,即中煤泥的研究较少,笔者以某选煤厂重介选中煤沉降离心机产品为研究对象,通过筛分、破碎、浮沉、分步释放等试验研究了中煤泥再选可能性,以期为中煤泥中精煤的回收提供技术支持。

## 1 煤样粒度分析

该煤样取自某选煤厂中煤沉降离心机产品,按照GB/T 477—2008《煤粉筛分试验方法》,分别采用筛孔为0.5、0.25、0.125、0.074、0.045 mm的标准套筛对该煤样进行粒度分析试验,试验结果见表1。

表1 中煤泥小筛分试验结果

Table 1 Result of fine coal size analysis for middlings slime

粒度/mm	产率/%	灰分/%	筛上物累计		筛下物累计	
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
+0.5	16.74	43.15	16.74	43.15	100	40.83
0.5~0.25	32.20	29.15	48.94	33.94	83.26	40.37
0.25~0.125	19.55	35.83	68.49	34.48	51.06	47.44
0.125~0.074	11.53	48.76	80.02	36.54	31.51	54.64
0.074~0.045	5.42	56.64	85.44	37.81	19.98	58.03
-0.045	14.56	58.54	100	40.83	14.56	58.54
合计	100	40.83	—	—	—	—

由表1可以看出:该煤样的总灰分为40.83%。各粒级产率和灰分分布不均匀,总体上看,随着粒度的减小,灰分逐渐增大。主导粒级为0.5~0.25 mm,其产率为32.20%,灰分为29.15%;其次为0.25~0.125 mm粒级,产率为19.55%,灰分为35.83%。0.5~0.25 mm粒级与0.25~0.125 mm粒级产率较高且灰分相对最低,说明煤样中的低灰物料主要集中在0.5~0.125 mm粒级,因此,该粒级是破碎解离的重点。-0.125 mm粒级的产率为31.51%,灰分较高为54.63%,此部分细粒物料在浮选时容易通过机械夹带和罩盖污染精煤<sup>[12]</sup>,降低浮

选效果,因此,-0.125 mm粒级的物料在破碎过程中应尽量避免进一步粉碎。

## 2 试验方法

### 2.1 破碎磨矿试验

为了研究不同破碎粒度对解离效果的影响,分别将煤样破碎到0.5 mm和0.3 mm以下。破磨流程为:在煤样进行破碎前首先用筛孔0.5 mm和0.3 mm的筛子对其进行预先筛分,避免合格物料的过粉碎,筛下物作为合格产品,筛上物经过对辊式破碎机进行破碎,对破碎后的产物进行检查筛分,筛下物

作为合格产品,筛上物进入对辊式破碎机进行二次破碎,对破碎后的产物再次进行检查筛分,筛下物作为合格产品,筛上物进入球磨机。为了防止过粉碎,每次球磨4 min后对球磨产物进行检查筛分,筛下物作为合格产品,筛上物返回球磨机继续磨矿,直至产品全部达到规定粒度以下。

## 2.2 小浮沉与浮选试验

按照GB/T 478—2008《煤粉浮沉试验方法》和MT/T 144—1997《选煤实验室分步释放浮选试验方法》对破磨前后的煤样分别进行小浮沉试验,并对破碎后煤样进行分步释放浮选试验。浮选机采用XFD-II型机械搅拌式单槽浮选机,转速2 100 r/min,充气量为0.25 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·min),矿浆质量浓度100 g/L,柴油和仲辛醇用量分别为1 kg/t和0.1 kg/t。

## 2.3 矿物质嵌布形态分析

取破碎粒度为0.3 mm煤泥与破碎前煤泥中密

度小于1.80 g/cm<sup>3</sup>的密度组分,先用树胶胶结加固,选用120号~150号金刚砂对煤泥胶块在磨片机上进行精磨,用清水洗净后,再用400号~500号金刚砂在细而平的铁盘上进行细磨,直到把粗磨痕迹磨去为止,然后用清水洗净,洗净后换用800号~1000号的金刚砂进行研磨,直到把400号~500号金刚砂细磨留下的痕迹磨去为止,用清水洗净。最后用氧化铝泥浆在玻璃板上精磨,磨到削除所有擦痕,使光片表面光滑有发光感觉时,再用清水洗净。将制好的光片置于Zeiss Scope A1偏光显微镜下,观察破碎前后煤样中矿物质的嵌布形态。

## 3 结果与分析

### 3.1 小浮沉试验结果

对破碎前、破碎后0.5~0 mm和0.3~0 mm煤样进行小浮沉试验,结果见表2、表3、表4和图1。

表2 破碎前浮沉试验结果

Table 2 Results of float and sink analysis before crushing

密度级/(g·cm <sup>-3</sup> )	产率/%	灰分/%	浮物累计		沉物累计		分选密度±0.1	
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	产率/%
<1.30	7.10	4.14	7.10	4.14	100	40.58	1.30	22.28
1.30~1.40	15.18	10.41	22.28	8.41	92.90	43.37	1.40	34.34
1.40~1.50	19.16	17.43	41.44	12.58	77.72	49.81	1.50	31.35
1.50~1.60	12.19	28.57	53.63	16.22	58.56	60.40	1.60	17.74
1.60~1.80	11.10	41.97	64.73	20.63	46.37	68.77	1.70	11.10
>1.80	35.27	77.20	100	40.58	35.27	77.20	—	—

表3 破碎后0.5~0 mm浮沉试验结果

Table 3 Results of float and sink analysis of 0.5~0 mm coal samples after crushing

密度级/(g·cm <sup>-3</sup> )	产率/%	灰分/%	浮物累计		沉物累计		分选密度δ±0.1	
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	产率/%
<1.30	9.40	4.79	9.40	4.79	100	40.15	1.30	9.40
1.30~1.40	21.84	10.44	31.24	8.74	90.60	43.82	1.40	31.24
1.40~1.50	18.13	17.98	49.38	12.13	68.76	54.42	1.50	24.32
1.50~1.60	6.18	26.25	55.56	13.70	50.62	67.47	1.60	9.48
1.60~1.80	6.59	36.93	62.14	16.16	44.44	73.21	1.70	3.29
>1.80	37.86	79.52	100	40.15	37.86	79.52	—	—

由表2可知,破碎前低密度级(<1.40 g/cm<sup>3</sup>)产率为22.28%,灰分为8.41%;高密度级(>1.80 g/cm<sup>3</sup>)产率为35.27%,灰分高达77.20%;中间密度级(1.40~1.80 g/cm<sup>3</sup>)产率高达42.45%,灰分仅为27.04%。相对高、低密度级来说,中间密度级产

率高,灰分较低。因此,该煤样具有破碎解离出低灰精煤的可能。

由图1a可知,当精煤灰分为10.00%时,理论产率为30.00%;当精煤灰分为11.00%,理论产率为34.10%。

表4 破碎后0.3~0 mm浮沉试验结果

Table 4 Results of float and sink analysis of 0.3~0 mm coal samples after crushing

密度级/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	产率/%	灰分/%	浮物累计		沉物累计		分选密度 $\delta \pm 0.1$	
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	密度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	产率/%
<1.30	3.95	5.52	3.95	5.52	100	40.47	1.30	3.95
1.30~1.40	23.54	7.92	27.49	7.57	96.05	41.91	1.40	27.49
1.40~1.50	18.80	14.80	46.29	10.51	72.51	52.94	1.50	27.17
1.50~1.60	8.38	21.14	54.66	12.14	53.71	66.29	1.60	10.98
1.60~1.80	5.20	33.51	59.86	13.99	45.34	74.63	1.70	2.60
>1.80	40.14	79.96	100	40.47	40.14	79.96	—	—

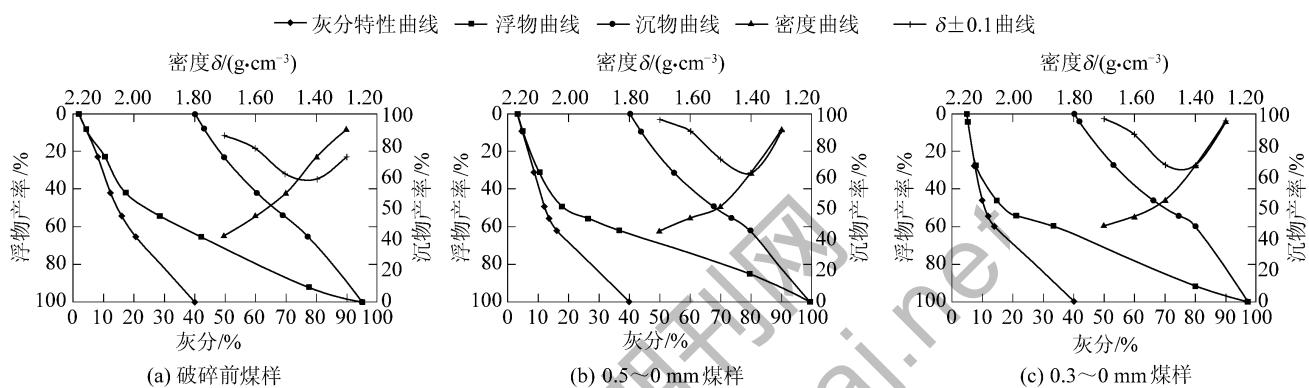


Fig. 1 The washability curves of different coal samples

由表3可以看出,当破碎粒度为0.5 mm时,释放出了大量低灰精煤,当精煤灰分为12.13%时,精煤累计产率为49.38%;主导密度级为>1.80  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,产率为37.86%,灰分高达79.52%,这说明该煤样中含有较多的高灰杂质,在浮选过程中容易被夹带进入精煤产品,造成精煤指标下降。由图1b可知,当要求精煤灰分为10.00%时,理论精煤产率为38.25%,与破碎前相比,产率增加了8.25个百分点;当要求精煤灰分为11.00%时,理论精煤产率为43.99%,与破碎前相比,产率增加9.89个百分点。

由表4和图1c可以看出,当破碎粒度为0.3 mm时,煤样中的无机矿物与可燃体得到进一步解离。当要求精煤灰分为10.00%时,理论精煤产率为43.90%,与破碎前和破碎粒度0.5 mm相比,产率分别增加13.90、5.65个百分点;当要求精煤灰分为11.00%时,理论精煤产率为50.00%,与破碎前和破碎粒度0.5 mm相比,产率分别增加了15.90和6.01个百分点。该煤样主导密度级为>1.80  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,产率为40.14%,灰分高达79.96%,相对于表3中>1.80  $\text{g}/\text{cm}^3$ 密度级增加了2.28个百分点,且灰分略微升高。这印证了当破碎粒度进一步减小

时,该煤样中的可燃体与无机矿物质得到了更加充分的解离。

### 3.2 分步释放浮选试验结果

对破碎后0.5~0 mm和0.3~0 mm煤样进行分步释放浮选试验,结果见表5和表6,分步释放曲线如图2所示。

由表5可知,煤样经过一次粗选后,精煤灰分为16.05%,精煤产率为61.22%;再经过一次精选后,精煤灰分降至11.61%,产率为48.31%。由2a可知,当要求精煤灰分为10.00%时,理论浮选精煤产率为37.00%,与图1b中对应的理论浮沉精煤产率38.00%略有差距。当要求精煤灰分为11.00%时,理论浮选精煤产率为44.63%。

由表6可知,煤样经过一次粗选后,精煤灰分为16.89%,精煤产率为62.79%;再经过一次精选后,精煤灰分降至10.57%,产率为46.47%。由图2b可知,当要求精煤灰分为10.00%时,理论浮选精煤产率为43%,比破碎粒度0.5 mm时提高了约6个百分点。当要求精煤灰分为11.00%时,理论浮选精煤产率为47.00%,比破碎粒度0.5 mm时提高了2.37个百分点。因此,该煤样破碎到0.3 mm后,煤与无机矿物质得到了进一步的解离。

表5 0.5~0 mm 分步释放试验结果  
Table 5 Progressive released flotation experiment of 0.5~0 mm coal samples

产品编号	分选次数	产率/%	灰分/%	精煤累计		尾煤累计	
				产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
J	—	19.39	7.59	19.39	7.59	100	41.93
W1	5	6.51	10.92	25.90	8.43	80.61	50.19
W2	4	8.05	13.21	33.95	9.56	74.10	53.64
W3	3	14.37	16.47	48.31	11.61	66.05	58.57
W4	2	12.90	32.68	61.22	16.05	51.69	70.27
W5	1	38.78	82.78	100	41.93	38.78	82.78
合计	—	100	41.93	—	—	—	—

表6 0.3~0 mm 分步释放试验结果  
Table 6 Progressive released flotation experiment of 0.3~0 mm coal samples

产品编号	分选次数	产率/%	灰分/%	精煤累计		尾煤累计	
				产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
J	—	30.54	7.97	30.54	7.97	100	40.09
W1	5	3.59	12.08	34.13	8.40	69.46	54.20
W2	4	3.85	14.00	37.98	8.97	65.87	56.50
W3	3	8.49	17.72	46.47	10.57	62.02	59.14
W4	2	16.32	34.87	62.79	16.89	53.53	65.71
W5	1	37.21	79.23	100	40.09	37.21	79.23
合计	—	100	40.09	—	—	—	—

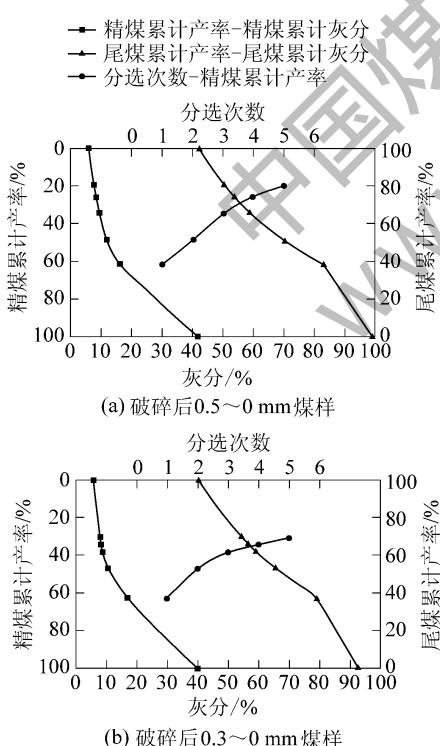


图2 不同煤样的分步释放曲线  
Fig. 2 Progressive released flotation curves of different coal samples

### 3.3 一粗一精浮选试验结果

由上述试验可知,当该煤样破碎至0.3 mm以下时煤与矸石得到了比较充分的解离。因此,试验选用0.3 mm作为该煤样的破碎粒度上限。对0.3~0 mm的煤样进行了一粗一精浮选试验研究,结果见表7。

由表7可看出,当柴油用量为504 g/t,仲辛醇用量为50.4 g/t时,经一次浮选可以得到产率为46.95%,灰分为12.84%的精煤产品。由图2b可知,此时的理论浮选精煤产率为52.76%,比实际精煤产率高约6个百分点。当增加药剂用量后,精煤产率由46.95%增加到52.04%,但此时的精煤灰分也随之上升到了14.04%,因此,要得到低灰精煤必须对浮选精煤进行再选。当柴油用量为1 kg/t,仲辛醇用量为0.1 kg/t时,煤样经一粗一精浮选后可以得到灰分为10.57%,产率为46.47%的精煤产品。

### 3.4 破碎前后煤中矿物质嵌布形态

由于煤本身是一种非均相的物质,煤的有机显微组分根据成因和工艺性质,可分成镜质组、惰质组和壳质组,煤中矿物质主要有黏土、石英和黄铁矿等<sup>[13~14]</sup>。不同组分其光学性质也不尽相同,在偏反

光照射下,油浸后的煤样中不同组分的各向异性差异光线发生干涉,造成干涉后的偏振光的振动方向的偏转角度不同,因此在正交的偏振光下则可以显

示出不同的亮度,根据不同组分的明暗程度差异可以将其区分开来<sup>[15]</sup>。破碎前后煤样的矿物嵌布形态如图3—图5所示。

表7 不同药剂用量下一粗一精浮选试验结果

Table 7 Results of rougher-cleaning flotation experiment of different dosage of reagents

柴油用量/ (g·t <sup>-1</sup> )	仲辛醇用量/ (g·t <sup>-1</sup> )	产物	产率/%	灰分/%	累计产率/%	累计灰分/%
504	50.4	精煤	25.64	9.69	25.64	9.69
		尾煤1	21.31	16.63	46.95	12.84
		尾煤2	53.05	66.99	100	41.57
672	67.2	精煤	31.56	9.95	31.56	9.95
		尾煤1	20.48	20.34	52.04	14.04
		尾煤2	47.96	71.33	100	41.52
840	84	精煤	38.94	10.22	38.94	10.22
		尾煤1	18.75	26.51	57.69	15.51
		尾煤2	42.31	76.35	100.00	41.25
1000	100	精煤	46.47	10.57	46.47	10.57
		尾煤1	16.32	34.87	62.79	16.89
		尾煤2	37.21	79.63	100	40.23

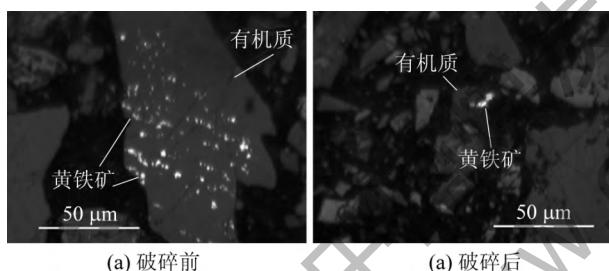


图3 破碎前后有机质与黄铁矿的分布情况

Fig. 3 Distribution of organic matter and pyrite for non-crushing and crushing sample

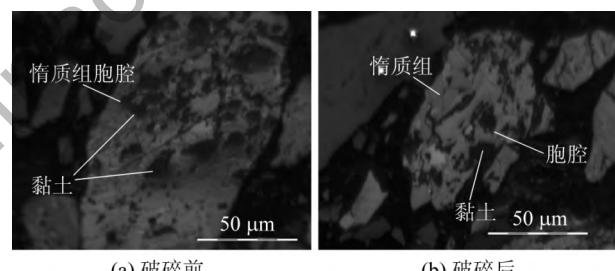


图5 破碎前后有机质与黏土的分布情况

Fig. 5 Distribution of organic matter and clay for non-crushing and crushing sample

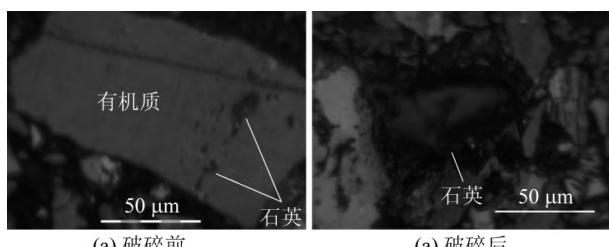


图4 破碎前后有机质与石英的分布情况

Fig. 4 Distribution of organic matter and quartz for non-crushing and crushing sample

从图3可以看出,未破碎磨矿前,煤中的黄铁矿呈点状嵌布在有机质中;破碎后煤中黄铁矿与有机质共生程度明显降低。从图4可以看出,未破碎磨矿前,石英嵌布在有机质中,破碎后解离出了石英

单体。

从图5可以看出,破碎前后黏土矿物在有机质中的嵌布形态相似,均充填于其胞腔中,呈浸染状,粒度一般为10~20 μm,黏土矿物与有机质未得到充分解离。综上所述,这说明该煤样经破碎磨矿后有机质与黄铁矿、石英得到了较为有效的解离,但有机质与黏土矿物并没有得到明显的解离,这些煤与黏土矿物的连生体极易在浮选过程中进入浮选精煤的概率很大,所以该煤样一次浮选的精煤灰分偏高。

#### 4 结 论

浮沉试验表明:中煤沉降离心机产品适宜的破碎粒度为0.3 mm,此时与破碎前相比,煤中的有机

质与无机矿物得到了较为充分的解离。偏光显微镜分析表明:破碎后煤样中的有机质与黄铁矿及石英得到了较为有效的解离,但有机质与黏土矿物并没有得到明显的解离。当精煤灰分为 11.00% 时,其理论精煤产率为 50.00%。当柴油用量为 1 kg/t,仲辛醇用量为 0.1 kg/t 时,经一粗一精浮选后可以得到灰分为 10.57%,产率为 46.47% 的精煤产品。

#### 参考文献( References):

- [1] 韩德馨.中国煤岩学 [M].徐州:中国矿业大学出版社,1996:59-75.
- [2] 朱向楠,何亚群,谢卫宁等.炼焦中煤矿物学特性及再选试验研究 [J].煤炭科学技术 2013,41(2):125-128.  
Zhu Xiangnan, He Yaqun, Xie Weining, et al. Study on mineralogy features of coking middlings and re-preparation [J]. Coal Science and Technology 2013, 41(2): 125-128.
- [3] 谢卫宁,何亚群,朱向楠等.破碎方式对中煤表面性质及后续浮选的影响 [J].煤炭科学技术 2014,42(9):134-138.  
Xie Weining, He Yaqun, Zhu Xiangnan, et al. Crushing method affected to surface properties and late floatation of middlings [J]. Coal Science and Technology 2014, 42(9): 134-138.
- [4] 李萍,付晓恒,周建军等.炼焦中煤深度降灰的研究 [J].洁净煤技术 2005,11(2):18-21.  
Li Ping, Fu Xiaoheng, Zhou Jianjun, et al. Study on coal depth reduction ash in coking [J]. Clean Coal Technology 2005, 11(2): 18-21.
- [5] 陈占文,郭德.我国中煤再选研究现状与可行性分析 [J].煤炭科学技术 2014,42(5):114-117.  
Chen Zhanwen, Guo De. Present status and feasibility analysis on middlings rewash in China [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(5): 114-117.
- [6] 沈笑君,史春华.中煤再选的必要性和可行性 [J].洁净煤技术, 2006,12(4):12-14.  
Shen Xiaojun, Shi Chunhua. The necessity and feasibility of middlings re-preparation [J]. Clean Coal Technology, 2006, 12(4): 12-14.
- [7] 张相国,沈笑君,史春华.中煤再选的必要性和可行性 [J].中国煤炭 2007,33(3):53-55.
- Zhang Xiangguo, Shen Xiaojun, Shi Chunhua. The necessity and feasibility of middlings re-preparation [J]. China Coal, 2007, 33(3): 53-55.
- [8] 张磊,刘文礼,马克富等.炼焦中煤再选技术试验研究 [J].煤炭科学技术 2011,39(3):125-128.  
Zhang Lei, Liu Wenli, Ma Kefu, et al. Experiment study on reparation technology of coking middlings [J]. Coal Science and Technology 2011, 39(3): 125-128.
- [9] 赵闻达,李延锋,谢彦君等.中煤破碎再选的应用研究 [J].煤炭工程 2012(7):97-99.  
Zhao Wenda, Li Yanfeng, Xie Yanjun, et al. Experiment study on middlings crushing [J]. Coal Engineering 2012(7): 97-99.
- [10] 訾涛,黄文锋,李炳才等.梁北选煤厂中煤破碎再选研究与工艺改造 [J].煤炭工程 2012(12):61-63.  
Zi Tao, Huang Wenfeng, Li Bingcai, et al. Middlings crushing-rewashing and process improvement in Liangbei Coal Preparation Plant [J]. Coal Engineering 2012(12): 61-63.
- [11] 宁石茂.中煤再选工艺在屯兰选煤厂的应用研究 [J].选煤技术 2014(3):29-31.  
Ning Shimao. Research and application of middlings re-cleaning process in Tunlan Coal Preparation Plant [J]. Coal Preparation Technology 2014(3): 29-31.
- [12] 于跃先,马力强,张仲玲等.煤泥浮选过程中的细泥夹带与罩盖机理 [J].煤炭学报 2015,40(3):652-658.  
Yu Yuexian, Ma Liqiang, Zhang Zhongling, et al. Mechanism of entrainment and slime coating on coal flotation [J]. Journal of China Coal Society 2015, 40(3): 652-658.
- [13] 曾凡桂,王祖讷.中煤的煤岩学特征 [J].燃料化学学报,1998,26(2):70-74.  
Zeng Fangui, Wang Zunne. Coal petrology characteristics of middlings [J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 1998, 26(2): 70-74.
- [14] 王美丽,舒新前,朱书全.煤岩组分解离与分选的研究 [J].选煤技术 2004(8):33-36.  
Wang Meili, Shu Xinqian, Zhu Shuquan. Study on dissociation and preparation for lithotype of coal [J]. Coal Preparation Technology, 2004(8): 33-36.
- [15] 王淀佐,卢寿慈,陈清如等.矿物加工学 [M].徐州:中国矿业大学出版社 2003.