

一种 1/3 焦煤高效药剂浮选试验

刘晓梅

(临沂矿业集团菏泽煤电有限公司郭屯煤矿, 山东 菏泽 274000)

摘要:郭屯选煤厂入浮煤泥粒度组成复杂,呈两头多中间少规律分布,粗粒、细粒由于脱附概率高、碰撞概率低等原因造成浮选尾煤灰分低,可燃体损失严重。为了提高浮选效率,响应临矿集团去煤泥化政策,以该选煤厂浮选入料为研究对象,进行浮选药剂及工艺优化试验。通过药剂筛选设计,开发捕收性更强的高效浮选捕收剂 DJ2#,试验研究表明:DJ2#-ZQ1#为最佳药剂组合,当 DJ2#、ZQ1#用量分别为 250、400 g/t 时,采用一粗一精浮选工艺,可得到浮选精煤产率为 78.18%、灰分为 10.07%,指标良好。

关键词:煤泥;浮选提质;药剂筛选;工艺优化

中图分类号:TD94

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2023)S2-0665-06

Feasibility study on quality improvement of slime flotation in Guotun Coal Preparation Plant

LIU Xiaomei

(Linyi Mining Group Heze Coal Electricity Co., Ltd. Guotun Coal Mine, Heze, 274000, China)

Abstract: The particle size composition of the incoming flotation slime in Guotun Coal Preparation Plant is complex. It is distributed according to the law of "more at both ends, less in the middle". Coarse and fine particles have low ash content in flotation tail coal due to high probability of desorption and low probability of collision, and the loss of combustibles is serious. In order to improve the flotation efficiency, in response to the "de-sliming" policy of Linkuang Group Company. Taking the flotation feed of this coal preparation plant as the research object, flotation reagents and process optimization experiments were carried out. Through the chemical screening design, a high-efficiency flotation collector DJ2# was developed. The experimental study showed that DJ2#-ZQ1# is the best chemical combination, when the dosage of DJ2# and ZQ1# is 250, 400 g/t respectively, using the flotation process of "one rough selection and one selection" flotation process, the flotation clean coal yield of 78.18% and ash content of 10.07% can be obtained.

Key words: slime; flotation improves quality; reagents screening; process optimization

0 引言

煤炭是我国的主要能源,涉及化工、电力、冶炼等行业。为满足节能减排、环境保护、资源综合利用等多方面需要,近年来对煤质的要求越来越高,煤炭分选加工是实现煤炭洁净利用的根本途径^[1]。煤炭分选是通过物理或化学方法去除煤炭中杂质,提高精煤数质量的过程^[2]。目前,国内大部分选煤厂采用跳汰或重介旋流器处理块煤,采用浮选方法处理细粒级煤泥^[3]。浮选技术大大提高分选粒度下限,有效缓解因优质资源耗尽、开采机械化程度提高等带来的煤炭资源贫、细、杂的突出问题^[4]。煤泥

浮选过程受煤-矸表面物化性质差异小、煤-矸单体解离不充分、浮选入料粒径不佳、高灰细泥含量多等不利因素干扰,导致浮选效率通常较低^[5]。

郭屯选煤厂煤泥浮选系统入料来源广、性质多变,高灰细泥含量大,高灰细泥夹带、罩盖等不利影响造成精煤灰分超标,同时,浮选入料中低灰粗粒受重力作用易与气泡脱附,在浮选尾煤中造成损失,浪费资源。传统药剂组合(柴油-杂醇)存在复杂性质煤泥适配性差,浮选效率低等问题,通过药剂结构定向筛选设计,开发与该煤泥表面含氧官能团相适配的、选择性更强的高效复合型捕收剂 DJ2#,在同样试验条件下,进行浮选单元试验和择优试验,探索出

收稿日期:2021-04-01;责任编辑:常明然 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.22111601

作者简介:刘晓梅(1984—),女,山东莱西人,工程师,硕士。Email:lxm2624@163.com

引用格式:刘晓梅.一种 1/3 焦煤高效药剂浮选试验[J].洁净煤技术,2023,29(S2):665-670.

LIU Xiaomei. Feasibility study on quality improvement of slime flotation in Guotun Coal Preparation Plant[J]. Clean Coal Technology, 2023, 29(S2): 665-670.

性能优越的药剂组合,为该厂高灰难选煤高效回收提供可能。

1 试验

1.1 试验仪器与试剂

试验设备为XFD-1.0型单槽浮选机,浮选槽容积为1.0 L,浮选叶轮转速为1 800 r/min,浮选质量浓度为80 g/L,充气量为 $0.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$;辅助设备包括马弗炉、分析天平、泰勒套筛、量筒等。小浮沉试验选用AXTD5A型台式低速离心机,离心机转速为3 000 r/min,离心旋转时间为10 min。

试验试剂,小浮沉重液:苯、四氯化碳、三溴甲烷;浮选药剂:柴油、杂醇,定向筛选设计的高效浮选药剂:捕收剂DJ2#,起泡剂ZQ1#。

1.2 试验样品

试验所用煤样取自临矿集团郭屯选煤厂浮选入料,将试验煤样进行过滤、烘干、混匀、缩分、装袋,得到试验样品。为了了解样品粒度性质,考察高灰细泥含量和最佳浮选粒级累计产量,对样品进行粒度分析^[6],按照GB/T477—2008《煤炭筛分试验方法》规定,筛分得到6个粒级产品,对各级产品进行灰分测量和产率计算,结果见表1。

表1 浮选入料粒度组成

粒级/mm	产率/%	灰分/%	筛上累计	
			产率/%	灰分/%
>0.500	4.89	7.78	4.89	7.78
0.500~0.250	13.32	8.03	18.21	7.96
0.250~0.125	15.76	11.25	33.97	9.49
0.125~0.074	13.19	14.87	47.16	10.99
0.074~0.045	11.31	17.58	58.47	12.27
<0.045	41.53	29.65	100	19.49
合计	100	19.49		

由表1可知,浮选入料除-0.045 mm粒级外,其余粒级占较均衡,存在一定泥化现象,各粒级产品灰分随着粒度减小而增加。煤泥主导粒级为-0.045 mm,产率为41.53%,灰分为29.65%,在分选过程易造成精煤污染问题;同时浮选入料中含少量低灰粗粒精煤,易导致跑粗,造成尾煤灰分偏低。为增加可燃体回收率,提高尾煤灰分,同时保证精煤灰分达标,所选药剂在提高捕收性同时需兼顾选择性。

为探索煤样可选性,获取煤泥浮选指标理论值^[7],根据GB/T 478—2008《中华人民共和国煤炭行业标准煤浮沉试验方法》规定进行小浮沉试验,试验结果见表2。

表2 浮选入料密度组成

密度级别/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	产率/%	灰分/%	浮物累积		沉物累积	
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
>1.3	22.36	4.19	22.36	4.19	100	19.31
1.3~1.4	26.52	8.95	48.89	6.77	77.64	23.67
1.4~1.5	26.39	19.08	75.28	11.09	51.11	31.31
1.5~1.6	9.82	25.04	85.10	12.70	24.72	44.35
1.6~1.8	6.92	40.14	92.02	14.76	14.90	57.08
>1.8	7.98	71.75	100	19.31	7.98	71.75
合计	100	19.31				

由表2可知,低密度级物料($<1.4 \text{ g/cm}^3$)煤泥含量相对较高,累计产率48.89%,累计灰分6.77%,此密度级物料存在较高回收价值。中间密度级物料($1.4 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$)次之,占比36.21%,累计灰分与原煤泥灰分相近,高达20.70%,此部分物料存在一定煤矸共伴生现象,需要根据煤矸表面性质差异,选择性抑制矸石含量占比高的劣质连生体,上浮煤炭含量占比高的优质连生体,在保证精煤灰分情况下提高精煤回收率。高密度物料($>1.6 \text{ g/cm}^3$)含量为14.90%,累计灰分57.08%,由于该煤种属中等变质,煤泥可浮性相对较好且发热量较高,考虑从此密度级中回收部分中煤,提高经济效益。

1.3 评价指标

试验参照GB/T 4757—2013《煤泥实验室单元

浮选试验方法》进行^[8],在入浮煤浆浓度为80 g/L的条件下,研究药剂制度(起泡剂、捕收剂种类及其用量)、浮选工艺对煤泥浮选可行性的影响。以浮选精煤可燃体回收率^[9]和浮选完善指标^[10]来评价煤泥的可浮性和浮选完善程度,二者的计算式为:

$$E = \frac{\gamma_j(100 - A_j)}{100 - A_y}, \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\gamma_j}{100 - A_y} \times \frac{A_y - A_j}{A_y} \times 100\%, \quad (2)$$

式中, E 为浮选精煤可燃体回收率,%; η 为浮选完善指标,%; γ_j 为浮选精煤产率,%; A_j 为浮选精煤灰分,%; A_y 为浮选入料灰分,%。

2 试验结果与分析

2.1 分步释放试验

煤泥分步释放试验是获得煤泥浮选理论产率及理论灰分的重要方法,并可由此判断实际浮选数量及质量效率。按 MT/T 144-1997《中华人民共和国煤炭行业标准选煤实验室分步释放浮选试验方法》进行实验室煤泥分步释放浮选试验^[11],试验采用 XFD-1.0 L 型实验室单槽浮选机进行分步释放试验,使用柴油为捕收剂,仲辛醇为起泡剂。浮选条件:捕收剂用量 1 000 g/t,起泡剂用量 400 g/t,矿浆质量浓度 80 g/L,浮选机搅拌转速为 1 800 r/min,充气量为 $0.2 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$,其浮选流程如图 1 所示,结果如图 2 所示。

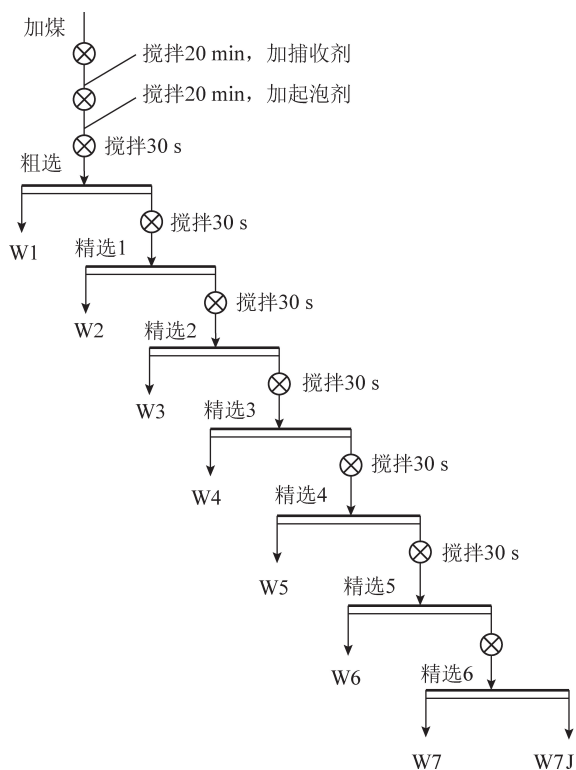


图 1 浮选分步释放试验流程

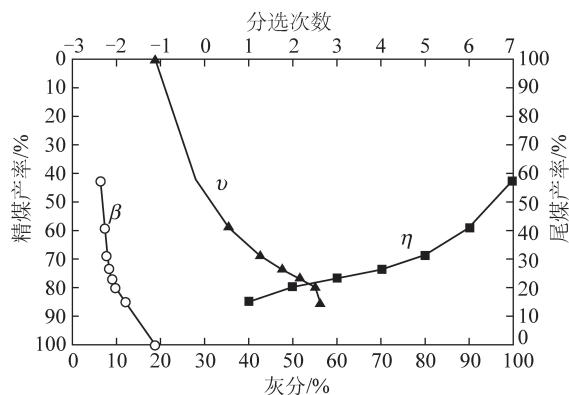


图 2 浮选分步释放结果

从试验结果表 3 可知,此煤泥可浮性较好,通过一次粗选可以将原煤灰分从 18.73% 降至 11.90%,且产率高达 84.57%,一次精选降灰效果比较明显,精煤累计灰分降低了 2.54%,而精煤累计产率仅下降约 5%。随精选次数增加,精煤质量不断提高,精煤累计灰分持续降低,但降幅较小,精煤累计产率随精选次数的增加而降低,受浮选浓度和药剂有效浓度影响,精煤累计产率在后期大幅下降。综合分析,该煤泥通过一粗一精浮选工艺,可得到较好的浮选指标,但药剂用量偏高,药剂方面还有很大的优化空间。

表 3 浮选分步释放结果

产品名称	产率/%	灰分/%	正累积	
			产率/%	灰分/%
J	42.30	6.18	42.30	6.18
W7	16.55	9.47	58.85	7.10
W6	9.79	12.71	68.64	7.90
W5	4.75	14.92	73.39	8.36
W4	3.30	16.10	76.68	8.69
W3	2.82	27.58	79.51	9.36
W2	5.06	51.77	84.57	11.90
W1	15.43	56.13	100	18.73
合计	100	18.73		

2.2 单元浮选试验

2.2.1 柴油-杂醇药剂组合试验

现场选用的捕收剂为常规非极性药剂柴油,起泡剂为杂醇,杂醇的主要成分为 C 分子数为 3~5 个的醇类混合物^[12]。为明晰现场药剂效果,考察现有药剂对煤泥的适用性,通过固定起泡剂用量,对捕收剂进行用量试验。在杂醇用量 200、400 g/t 两个用量水平下试验,试验结果见表 4。

由表 4 可知,在 2 个杂醇用量水平下,随柴油用量增大可燃体回收率、浮选完善指标增加。当杂醇用量 200 g/t 时,浮选效率极低,即使捕收剂用量增至 2 000 g/t,可燃体回收率仅 54.13%,表明起泡剂对提高浮选泡沫稳定性,增加浮选矿化作用具有较强作用。当杂醇用量增至 400 g/t 时,同等捕收剂用量下,浮选指标有较大提升。柴油用量 2 000 g/t、杂醇用量 400 g/t 时,可燃体回收率为 70.10%,与理想指标还存在较大差距。对于此工业类型的煤种来说,此药剂用量已达较高水平,不可通过增加药剂用量进一步提高浮选回收率。为改善原厂药剂与煤炭适配度相对较低的现有问题,通过对煤泥表面官能团分析,结合药剂结构进行定向筛选设计,开发煤炭-药剂适配度高的捕收剂。

表 4 柴油-杂醇药剂组合试验结果

药剂用量/(g·t ⁻¹)		精煤		尾煤		入料灰分/%	可燃体回收率/%	浮选完善指标/%
柴油	杂醇	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%			
250	200	21.95	12.29	78.05	20.88	18.99	23.77	9.56
500	200	29.61	12.28	70.39	21.84	19.01	32.07	12.94
1 000	200	32.71	9.93	67.29	23.60	19.13	36.43	19.45
2 000	200	48.64	10.01	51.36	27.78	19.14	54.13	28.69
250	400	42.09	11.16	57.91	25.40	19.41	46.40	22.20
500	400	53.35	10.82	46.66	29.98	19.76	59.29	30.08
1 000	400	55.98	10.65	44.02	30.93	19.58	62.19	31.75
2 000	400	63.27	10.43	36.73	34.20	19.16	70.10	35.66

2.2.2 DJ2#-杂醇药剂组合试验

上述试验发现柴油与该样品的适配度较低,高药剂用量下无法达到理想状态,煤炭表面性质复杂,含多种官能团,因受变质程度、氧化程度等影响,煤炭表面含氧官能团有较大差别。含氧官能团会使煤炭表面疏水性变差,影响浮选效果^[13]。常规非极性捕收剂柴油与表面含氧官能团丰富的煤泥间相互作用力较弱,药剂在煤炭表面的铺展性较差,对煤炭表面疏水性改善较小,从而无法达到较好的浮选效果。

基于此,通过分析煤炭表面官能团性质,特别是煤炭表面含氧官能团种类及数量,借助原子力显微镜原位测试^[14],确定煤泥表面官能团与药剂官能团间作用力强弱关系,对浮选药剂多种极性与非极性组分进行复合^[15],复合时加入一定量的乳化剂以提高药剂稳定性、分散性,在超声环境下进行。基于药剂分子定向筛选准则,开发与该煤泥适配度更高的捕收剂 DJ2#。在起泡剂杂醇用量 400 g/t 不变的情况下对 DJ2#进行用量试验,具体试验结果见表 5。

表 5 DJ2#用量对煤泥浮选效果影响

药剂用量/(g·t ⁻¹)		精煤		尾煤		入料灰分/%	可燃体回收率/%	浮选完善指标/%
DJ2#	杂醇	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%			
250	400	43.96	10.29	56.04	26.25	19.24	48.83	25.32
500	400	54.69	9.93	45.31	30.58	19.29	61.03	32.88
1 000	400	64.15	10.28	35.85	35.33	19.26	71.29	37.04
2 000	400	77.87	11.02	22.13	47.16	19.01	85.56	40.41

与第 2.2.1 节试验结果相比较,DJ2#-杂醇药剂组合浮选指标优于柴油-杂醇药剂组合,特别是当捕收剂用量大于 1 000 g/t 时,可燃体回收率可以提高 9~15 个百分点。值得注意的是,DJ2#-杂醇药剂组合与柴油-杂醇药剂组合相比选择性更强,例如捕收剂用量 1 000 g/t 时,精煤产率提高了 9.10%,而精煤灰分由 10.65%降至 10.28%。DJ2#-杂醇药剂组合下尾煤灰分最高为 47.16%,产率 22.13%,根据密度组成分析可知,高密度物料(>1.6 g/cm³)含量为 14.90%,累计灰分为 57.08%,药剂组合还有优化空间。起泡剂杂醇烷基链较短,形成的气泡易破碎,气泡性能不稳定不利于浮选入料中粗粒物料回收,需要对起泡剂杂醇择优替代。

2.2.3 DJ2#-ZQ1#药剂组合试验

起泡剂在浮选过程中起关键作用,为解决杂醇泡沫性能不稳定、易破碎问题^[12,16],选择起泡性能

更稳定,气泡强度较高的起泡剂 ZQ1#。据前期探索结果,固定起泡剂 ZQ1#药剂用量为 400 g/t,对捕收剂 DJ2#进行用量试验,试验结果见表 6,可知当起泡剂 ZQ1#用量固定 400 g/t 时,随捕收剂用量增加,精煤产率不断提高,但精煤灰分逐渐增加;捕收剂用量 250 g/t 时,精煤产率为 82.64%,可燃体回收率高达 90.14%,精煤灰分为 12.24%,无法达到现场要求灰分指标,需要通过工艺进行进一步优化。

2.3 “一粗一精”浮选试验

基于第 2.2 节试验结果,在实验室采用 XFD-1.0 L 型实验室单槽浮选机进行一粗一精浮选试验。浮选试验条件:起泡剂 ZQ1#用量固定 400 g/t,捕收剂 DJ2#用量改变,矿浆质量浓度 80 g/L,浮选机搅拌转速为 1 800 r/min,充气量 0.2 m³/(m²·min),每段浮选刮泡时间为 3 min。其浮选流程如图 3 所示。煤泥浮选试验结果见表 7。

表 6 DJ2#-ZQ1#药剂组合试验结果

药剂用量/(g·t ⁻¹)		精煤		尾煤		入料灰分/%	可燃体回收率/%	浮选完善指标/%
DJ2#	ZQ1#	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%			
250	400	82.64	12.24	17.36	54.31	19.54	90.14	38.38
500	400	87.02	13.26	12.98	61.27	19.49	93.76	34.56
1 000	400	90.01	13.98	9.99	64.72	19.05	95.65	29.59
2 000	400	91.98	14.79	8.02	69.03	19.14	96.93	25.85

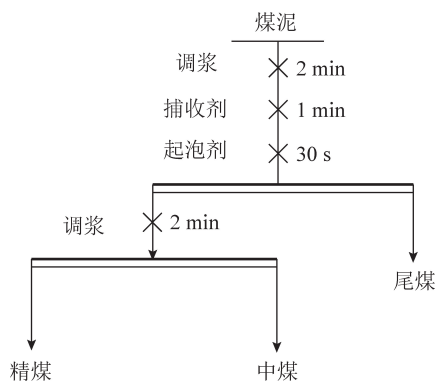


图 3 “一粗一精”浮选试验流程

由表 7 可知,与粗选试验规律一致,随捕收剂用量增加,精煤产率、灰分不断增加,尾煤灰分相应提高,尾煤灰分平均值在 60% 左右,但浮选完善指标不断下降,可能是由于捕收剂过量,导致矿物颗粒盲目上浮。在一粗一精工艺条件下,当 DJ2# 药剂用量 250 g/t、ZQ1# 药剂用量 400 g/t 时,浮选完善度指标最高为 45.66%,说明此浮选工艺效果最佳,在满足精煤灰分要求的情况下,最大程度回收可燃体,大大降低药剂用量,为解决现场浮选效率低、可燃体回收率低等现实问题提供参考。

表 7 “一粗一精”浮选试验结果

DJ2#用量/ (g·t ⁻¹)	精煤		中煤		尾煤		入料灰分/%	可燃体回收率/%	浮选完善指标/%
	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%			
250	78.18	10.07	6.40	42.28	15.43	55.16	19.09	86.89	45.66
500	83.30	11.26	4.72	54.73	11.97	63.01	19.51	91.84	43.76
1 000	86.81	12.53	4.20	61.19	8.99	65.76	19.36	94.16	37.98
2 000	87.76	13.31	4.81	57.24	7.44	69.44	19.59	94.62	34.99

3 结 论

1) 通过对煤样粒度组成、密度组成等性质分析发现,煤泥粒度组成较复杂,高灰细泥多,同时存在部分 >0.5 mm 的低灰粗粒物料,浮选过程需兼顾细泥夹带和粗粒脱附等问题,同时煤炭为 1/3 焦煤,表面性质相对复杂,含一定量含氧官能团,在药剂选择设计时兼顾药剂捕收性能、选择性能,因此对药剂设计与工艺选择提出一定挑战。

2) 传统药剂组合柴油-杂醇对郭屯选煤厂煤泥适配性差,煤泥浮选效率低。DJ2#-杂醇药剂组合较柴油-杂醇组合可提高可燃体回收率 9~15 个百分点,但由于杂醇中醇烷基链较短,所形成气泡性能不稳定,矿化气泡兼并破灭,低灰粗粒煤泥脱附概率增加,浮选尾煤灰分较低。DJ2#-ZQ1# 药剂组合捕收性能较强,在 DJ2# 药剂用量 250 g/t、ZQ1# 药剂用量 400 g/t 时,可燃体回收率达 90.14%,但精煤灰分较高为 12.24%。

3) 采用“一粗一精”浮选工艺,在捕收剂 DJ2# 药剂用量 250 g/t、起泡剂 ZQ1# 药剂用量 400 g/t 时,

可获得浮选精煤灰分 10.07%,可燃体回收率 86.89% 的良好浮选指标。新开发药剂组合和浮选工艺参数可为解决现场浮选效率低、可燃体回收率低等现实问题提供参考。

参考文献:

- [1] 陈清如. 发展洁净煤技术推动节能减排[J]. 中国高校科技与产业化,2008(3):65-67.
- [2] 赵晓红. 屯兰选煤厂煤泥浮选药剂种类与用量优选试验[J]. 选煤技术,2015(5):21-23.
- [3] 杨林青,胡方坤. 我国选煤技术的现状及发展[J]. 煤炭技术,2010,29(5):109-111.
- [4] 于跃先,马力强,张志军,等. 高灰煤泥难选原因分析及分选技术探讨[J]. 煤炭工程,2016,48(7):118-121.
- [5] 桂夏辉,邢耀文,王婷霞. 煤泥浮选过程强化之二——低阶/氧化煤难浮机理探讨[C]//2018 年全国选煤学术交流会. 银川:[s.n.],2018.
- [6] 孟涛,文献才,阎志刚,等. 高灰难选煤泥浮选降灰试验研究[J]. 煤炭技术,2019,38(6):173-176.
- [7] 曾繁杰,武振萍. 宁夏双马煤矿原煤煤质特征及可选性研究[J]. 煤炭技术,2021,40(5):196-198.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 煤泥实验室单元浮选试验方法:GB/T 4757—2013 [S].2014-05-01.

- [9] 全国煤炭标准化技术委员会。煤粉(泥)可浮性评定方法: GB/T 30047—2013[S].2014-05-01.
- [10] 陈爱珠,顾少雄,吴大为,等.选煤厂浮选工艺效果评定方法[J].选煤技术,1988(5):3-7.
- [11] 符东旭,岳丽荣,张晓涛,等.浮选试验标准不适应性讨论[J].选煤技术,2021(1):1-27.
- [12] 王军,孙健,侯玉茂,等.不同碳链长度起泡剂对 1/3 焦煤浮选效果的影响[J].煤炭加工与综合利用,2021(4):39-41.
- [13] 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[C]//2018 年全国选煤学术交流会.银川:[s.n.],2018.
- [14] 邢耀文,桂夏辉,曹亦俊.原子力显微镜的云母及煤表面的水化膜测试和界面相互作用(英文)[J].Journal of Central South University,2018,25(6):1295-1305.
- [15] 郑茜,何琦,丁世豪,等.基于紫外活化的柴油强化低阶煤浮选动力学[J].煤炭学报,2020,46(S2):1003-1011.
- [16] 郭芳余,黄露露,何琳,等.复配起泡剂强化低阶煤浮选的试验研究[J].选煤技术,2021(1):92-97.