

低阶煤可浮性及浮选速率模型研究

安茂燕,焦小莉,周璐,王茜,赵锐先

(中国矿业大学 化工学院,江苏 徐州 221008)

摘要:针对低阶煤浮选困难的问题,采用煤质分析和筛分试验研究了低阶煤的可浮性。在此基础上进行了低阶煤浮选速度试验,并利用试验结果对低阶煤的浮选速率模型进行曲线拟合,经过 MATLAB 数值计算建立了最终的浮选速率模型。煤泥可浮性试验表明:低阶煤中挥发分、水分和 O 含量较高,亲水性强,可浮性很差。浮选速度试验表明,随着浮选时间的增加,精煤产率逐渐升高,尾煤产率逐渐降低,当精煤灰分为 11.50% 时,精煤产率仅为 34.46%,尾煤产率高达 65.54%,尾煤灰分仅为 19.95%;2 种浮选速率模型中,一级矩形分布模型计算误差较小,且相关系数平方 R^2 更接近 1,达到了很高的拟合精度,因此一级矩形分布模型是低阶煤最合适的浮选速率模型。

关键词:低阶煤;可浮性;表面性质;粒度组成;浮选速率模型;浮选动力学

中图分类号:TD943

文献标识码:A

文章编号:1006-6772(2012)01-0009-04

Research on floatability and flotation rate model of low-rank coal

AN Mao-yan, JIAO Xiao-li, ZHOU Lu, WANG Qian, ZHAO Rui-xian

(School of Chemical Engineering and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: In view of the difficulty in low-rank coal flotation, the coal quality analysis and screening tests were applied to research the floatability of low-rank coal. This research provides a basis for subsequent tests. A flotation speed test was carried out and the flotation rate model was proposed with experimental data curve fitting by MATLAB. The floatability analysis results show that there are numerous volatile, moisture and oxygen in low-rank coal with strong hydrophilicity and poor floatability. In the flotation speed test, the clean coal yield gradually increases but the tailing yield reduces little by little with the increase of flotation time. When the clean coal yield is 34.46% with 11.5% ash content, the tailing yield is up to 65.54% with only 19.95% ash content. In two flotation rate models, the first-order rectangular distribution model has smaller calculation relative error and the squared correlation coefficient is closer to 1, which achieved a high fitting precision. Therefore, the first-order rectangular distribution model is the most appropriate flotation rate model of low-rank coal.

Key words: low-rank coal; floatability; surface properties; size fraction; flotation rate model; flotation kinetics

中国低阶煤资源丰富,除了传统的燃烧、气化和液化外,还可用于水煤浆的制备、腐植酸的提取、微生物转化和吸附剂制备等方面^[1-5]。目前,石油资

源相对匮乏,加深对低阶煤资源的开发和利用,成为解决资源供应危机的重要途径之一。

浮选是细粒煤泥分选中应用最广、效果最好的

收稿日期:2011-10-25 责任编辑:白娅娜

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(2010LKH05)

作者简介:安茂燕(1986—),女,山东曹县人,在读硕士研究生,研究方向为低阶煤的洁净利用。

一种选煤方法^[6]。浮选是利用矿物表面性质差异实现分选,浮选效果与煤泥的可浮性密切相关。因此,加强对低阶煤泥可浮性的研究是利用浮选开发低阶煤资源的关键。浮选是在气-液-固三相体系中完成的复杂物理化学过程,浮选速率及浮选动力学特征是把握和控制浮选过程的重要参数。国内外研究人员对煤泥浮选速率模型进行了大量研究^[7-9],也取得了许多成果,但是对于低阶煤的浮选速率模型还尚未报道。基于此,开展对低阶煤可浮

性和浮选速率模型的研究。

1 煤泥可浮性

1.1 表面性质

煤泥表面性质是影响煤泥可浮性的关键。试验煤样取自某选煤厂-13 mm 低阶煤,用颚式破碎机进行破碎,然后用棒磨机磨成煤粉,混匀后装入自封袋中备用。煤样的工业分析和元素分析见表1。

表1 煤样的工业分析和元素分析

%

工业分析				元素分析				
M_{ad}	V_{ad}	A_{ad}	FC_{ad}	$\omega(C_{daf})$	$\omega(H_{daf})$	$\omega(O_{daf})$	$\omega(N_{daf})$	$\omega(S_{t,daf})$
8.71	27.89	16.91	46.49	78.75	5.60	12.73	1.74	1.18

由表1可知,试验煤样的挥发分、水分较高, O 含量高达 12.73%,说明煤表面含氧官能团十分丰富,属于典型的低变质程度煤。低阶煤的有机结构模型如图1所示^[10]。由图1可知,低阶煤煤样表面

形成了大量羟基、羧基和羰基等含氧官能团,易于与水分子之间形成较强的氢键,煤样亲水性增加,疏水性相对减弱,难以通过疏水性差异与无机矿物分开,可浮性很差,为浮选过程带来困难^[11-13]。

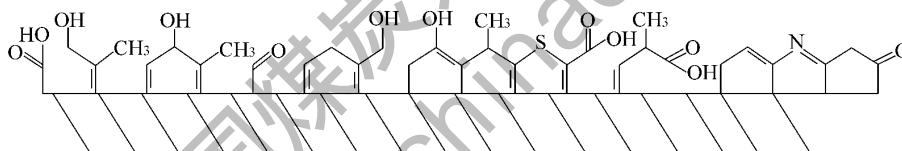


图1 低阶煤的有机结构模型

1.2 粒度组成

粒度组成也是影响煤泥可浮性的因素之一。采

用孔径为 0.500、0.250、0.125、0.074 mm 的套筛对煤泥进行筛分试验,结果见表2。

表2 煤泥粒度组成

粒度/mm	产率/%	灰分/%	筛上累积/%		筛下累积/%	
			产率	灰分	产率	灰分
+0.500	2.71	18.90	2.71	18.90	100.00	17.03
0.500~0.250	7.73	15.33	10.44	16.26	97.29	16.97
0.250~0.125	29.12	15.02	39.56	15.35	89.56	17.12
0.125~0.074	26.71	15.43	66.27	15.38	60.44	18.13
-0.074	33.73	20.26	100.00	17.03	33.73	20.26
合计	100.00	17.03				

由表2可知,煤泥粒度分布不均,随着粒径的减小,灰分逐渐增加。其中,+0.500 mm 质量分数为 2.71%,属于正常混杂;0.500~0.074 mm 质量分数高达 63.56%,这部分煤泥对浮选极为有利,对提高可燃体回收率有一定作用,但由于煤的表面疏水性差,要获得理想回收率也较为困难。

2 浮选速率模型

2.1 浮选速度试验

浮选速度试验选用容积为 1.5 L 的 XFD 型单槽浮选机,叶轮转速定为 1800 r/min,充气量为 0.25 m³/(m²·min),浮选矿浆质量浓度为 80 g/L,捕收

剂煤油用量为 5 kg/t, 起泡剂仲辛醇用量为 500 g/t。在自然 pH 条件下, 对全粒级煤泥进行浮选速度试验, 即一次加药多次刮泡的浮选试验, 从时间角度考虑煤泥的可浮性。刮泡时间依次为 0.5、0.5、1.0、1.0、2.0 min, 共刮泡 5 次, 依次得到 6 个产品, 分别为精煤 1、精煤 2、精煤 3、精煤 4、精煤 5 和尾煤, 各产品过滤、烘干后称重、测灰, 浮选速度试验结果如图 2 所示。

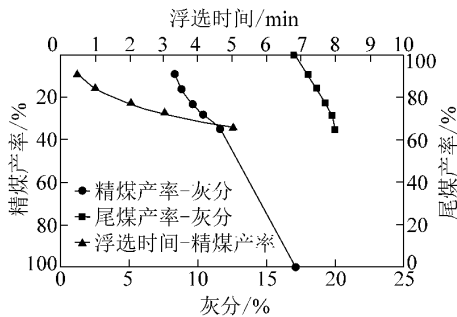


图 2 浮选速度曲线

由图 2 可知, 随着浮选时间的增加, 精煤产率逐渐增加, 尾煤产率逐渐减低; 当精煤灰分为 11.50% 时, 精煤产率仅为 34.46%, 尾煤产率高达 65.54%, 尾煤灰分仅为 19.95%, 说明此低阶煤可浮性很差, 试验结果与前面的可浮性分析相一致。

2.2 浮选速率模型

依据浮选速度试验结果研究煤泥的动力学特性。以下为 2 种常用的煤泥浮选动力学模型^[14]:

一级动力学速率模型:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\infty} \times [1 - \exp(-kt)]$$

一级矩形分布速率模型:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\infty} \times \left[1 - \frac{1 - \exp(-kt)}{kt} \right]$$

式中, ε 为可燃体回收率, %; ε_{∞} 为最大可燃体回收率, %; k 为浮选速率常数。

采用曲线拟合的方法, 对比以上 2 个模型对低阶煤浮选速度试验结果的拟合度, 利用 MATLAB 软

件进行计算, 确定模型参数 ε_{∞} 和 k , 找出适合低阶煤的浮选速率模型, 具体步骤如下^[15]:

①将浮选速率模型转换为函数形式 MATLAB 表达式, 并作为 Function 函数以备调用;

②输入程序代码, 求得模型参数;

③代入模型参数, 得到拟合曲线或通过计算对比选出拟合度最高的模型。

通过反复计算得出 ε_{∞} 和 k , 再对拟合值与试验值进行对比, 计算各模型的回归参数检验值: 偏差之和 δ 、偏差平方和 S_T 、均方差 S 、相关系数平方 R^2 , 各参数的计算公式如下:

$$\delta = \sum_{i=1}^5 (\varepsilon_i - \hat{\varepsilon}_i)$$

$$S_T = \sum_{i=1}^5 (\varepsilon_i - \hat{\varepsilon}_i)^2$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\varepsilon_i - \hat{\varepsilon}_i)^2}{5}}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^5 (\hat{\varepsilon}_i - \bar{\varepsilon})^2}{\sum_{i=1}^5 (\hat{\varepsilon}_i - \bar{\varepsilon})^2 + \sum_{i=1}^5 (\varepsilon_i - \hat{\varepsilon}_i)^2}$$

通过上述计算公式确定模型参数, 一级动力学速率模型的 ε_{∞} 和 k 分别为 38.32 和 0.5554, 一级矩形分布速率模型 ε_{∞} 和 k 分别为 45.03 和 1.001, 分别代入模型 1 和模型 2, 得到低阶煤浮选速率模型为:

一级动力学速率模型:

$$\varepsilon = 38.32 \times [1 - \exp(-0.5554t)]$$

一级矩形分布速率模型:

$$\varepsilon = 45.03 \times \left[1 - \frac{1 - \exp(-1.001t)}{1.001t} \right]$$

将 2 种模型拟合的曲线与试验值对比, 具体见表 3。根据表 3 数据得出浮选速率模型曲线, 具体如图 3 所示。

表 3 浮选速度模型的计算

累计浮选时间/min	产品	可燃体回收率/%	累计可燃体回收率/%	动力学速率模型		矩形分布速率模型	
				回收率/%	偏差	回收率/%	偏差
0.5	精煤 1	10.04	10.04	9.29	0.75	9.60	0.44
1.0	精煤 2	7.18	17.22	16.33	0.89	16.58	0.64
2.0	精煤 3	7.75	24.97	25.70	-0.73	25.58	-0.61
3.0	精煤 4	5.14	30.11	31.08	-0.97	30.78	-0.67
5.0	精煤 5	6.59	36.70	35.94	0.76	36.09	0.61
—	尾煤	63.30	100.00				

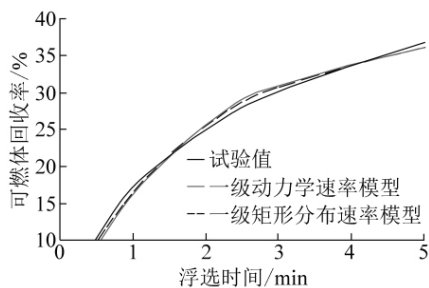


图3 浮选速率模型拟合曲线

由图3可知,在浮选过程中,一级矩形分布模型与试验值最为相近,说明一级矩形模型是低阶煤最合适的浮选速率模型。

通过表3利用Excel对各浮选速率模型的计算和比较得到各模型的回归参数检验值,见表4。

表4 各模型回归参数检验值

模型	δ	S_T	S	R^2
动力学速率	0.70	3.41	0.83	0.9923
矩形分布速率	0.41	1.79	0.59	0.9959

由表4可知,一级矩形分布速率模型的 δ 、 S_T 、 S 均小于一级动力学速率模型,说明一级矩形分布速率模型的计算误差更小;一级矩形分布速率模型的 R^2 最接近1,证实了拟合曲线的精度,再次说明一级矩形分布速率模型是拟合度最高的模型。因此,最终确定低阶煤浮选速率模型为:

$$\varepsilon = 45.03 \times \left[1 - \frac{1 - \exp(-1.001t)}{1.001t} \right]$$

3 结 论

低阶煤表面含有大量含氧官能团,亲水性强,可浮性很差。煤样浮选速度试验表明:低阶煤精煤产率低,尾煤产率高,尾煤灰分低,可浮性很差,这与可浮性分析结果一致。利用浮选速度试验结果对低阶煤的浮选速率模型进行了曲线拟合,通过MATLAB数值计算和比较,发现一级矩形分布速率模型是低阶

煤煤样最合适的浮选速率模型,最终确定浮选速率

$$\text{模型为: } \varepsilon = 45.03 \times \left[1 - \frac{1 - \exp(-1.001t)}{1.001t} \right]。$$

参考文献:

- [1] 王国房,颜淑娟,郭志新,等.低阶煤气化水煤浆添加剂的评价研究[J].洁净煤技术,2009,15(6):39-41.
- [2] 初荣,李华民.褐煤的加工与利用技术[J].煤炭工程,2005(2):47-49.
- [3] 贾传凯,谢惠珠.水煤浆燃烧技术的现状与发展[J].洁净煤技术,2011,17(4):67-69.
- [4] 贾传凯.水煤浆锅炉应用与节能减排分析[J].洁净煤技术,2011,17(3):1-2,47.
- [5] 王观昌,韩建文,王泽南.低挥发分水煤浆工业燃烧试验研究[J].洁净煤技术,2010,16(3):74-76.
- [6] 谢广元.选矿学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2005:388-390.
- [7] 陶有俊,路迈西,蔡璋,等.细粒煤浮选动力学特性研究[J].中国矿业大学学报,2003,32(6):694-697,704.
- [8] 刘文礼,路迈西,任守政,等.各品级煤泥浮选规律的研究[J].中国矿业大学学报,2000,29(4):358-362.
- [9] 卫玉花,樊民强.屯兰矿小于0.25mm粒级原煤浮选动力学研究[J].洁净煤技术,2004,10(4):26-29.
- [10] 李少章,朱书全.低阶煤泥浮选的研究[J].煤炭工程,2004(12):60-62.
- [11] 林玉清,林麟,徐长江,等.对改善氧化煤泥表面疏水性药剂的研究[J].选煤技术,2001(1):24-25.
- [12] G Ö zbayoglu, T Depci, N Ataman. Effect of microwave radiation on coal flotation[J]. Energy Sources, 2009, 31(6):492-499.
- [13] Meinar. Floatability and desulfurization of a low-rank (Turkish) coal by low temperature heat treatment[J]. Fuel Processing Technology, 2009, 90(10):1300-1304.
- [14] 陶有俊,刘文礼,路迈西.细粒煤浮选数学模型的研究[J].中国矿业大学学报,1999,28(5):425-428.
- [15] 李贤国,张明旭,李新. MATLAB与选煤/选矿数据处理[M].徐州:中国矿业大学出版社,2005:134-139.

欢迎订阅《洁净煤技术》

2012年《洁净煤技术》杂志定价:20元/册,全年6期120元。本刊自办发行,可直接向本刊索取订单并办理订购业务。

联系地址:北京市和平里青年沟东路5号煤炭科学研究总院《洁净煤技术》编辑部

联系电话:010-84262927 84262909

电子信箱:jjmjs@263.net

传真:010-84262927 84262909

网址:www.jjmjs.com.cn