

## 半焦煤样成浆性研究

张玉荣<sup>1,2</sup> 杨鸿鹰<sup>1,2</sup> 吴有宾<sup>3</sup>

(1.陕西省石油化工研究设计院 陕西 西安 710054; 2.陕西省工业水处理工程技术研究中心 陕西 西安 710054;  
3.陕西延长石油榆林煤化有限公司 陕西 榆林 710000)

**摘要:**为高效利用半焦,增加煤气化原料来源,采用剪切和球磨的方法,对榆神能化半焦煤样进行成浆试验,研究添加剂种类、用量、水煤浆浓度对水煤浆黏度和稳定性的影响。通过半焦和褐煤配煤成浆试验,验证配煤制浆应用于实际生产的可行性。结果表明,半焦单独成浆,添加剂选用 MX,添加量为 0.2%,入料浓度为 69%时,理想黏度为 800~1 200 mPa·s,浆体抗剪切性能较好、稳定性佳,适合做锅炉用水煤浆。配煤成浆时,文玉褐煤与榆神能化半焦质量比为 3:7 或 2:8 时,可使用添加剂 FX 和 MX,添加剂量为 0.3%,成浆浓度 61%左右,水煤浆黏度为(1 000±200) mPa·s,稳定性 72 h 析水率<7%,无硬沉淀,均可达到实际生产需要,适合做气化用水煤浆。在选择合适添加剂的基础上,半焦单独成浆,半焦与褐煤配煤成浆均可达到实际生产要求。

**关键词:**半焦;煤气化;水煤浆;添加剂;成浆性

中图分类号:TQ536

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2016)06-0024-04

### Study of slurryability of the semi coke sample

ZHANG Yurong<sup>1,2</sup>, YANG Hongying<sup>1,2</sup>, WU Youbin<sup>3</sup>

(1.Shaanxi Research Design Institute of Petroleum and Chemical Industry Xi'an 710054 China; 2.Shaanxi Industry Water Treatment Research Centre of Engineering Technology Xi'an 710054 China; 3.Shaanxi Yanchang Petroleum Yulin Coal Chemical Co., Ltd. Yulin 710000 China)

**Abstract:** In order to utilize char efficiently and broaden the raw materials sources of coal gasification, the slurryability of Yushennenghua char samples were studied using cutting and milling methods. The influence of additives types and dosage, coal water slurry (CWS) concentration on viscosity and stability of CWS were investigated. The research was to find out whether the char and lignite were suitable for practical industrial production. The results showed that, when the dosage of additive MX was 0.2% and the feed concentration was 69%, the viscosity of Yushen char CWS could range from 800 mPa·s to 1 200 mPa·s, the shearing resistance and stability were good which meant the CWS was suitable for boiler. When the mass ratio of Wenyu lignite and Yushennenghua char was 3:7 or 2:8, the dosage of additive FX or MX was 0.3%, the concentration of CWS was around 61%, the viscosity of CWS was (1 000±200) mPa·s, the precipitated water was less than 7% and there was no hard sediment after 72 hours standing. If proper additive was chosen, both Yushen char and blending coal of Yushen char and Wenyu lignite were suitable for gasifying CWS.

**Key words:** semi coke; coal gasification; coal water slurry; additive; slurryability

## 0 引 言

截至 2014 年底,我国煤炭探明储量为 1 145 亿 t,其中无烟煤和烟煤为 622 亿 t,次烟煤和褐煤为 523 亿 t,占世界煤炭探明储量的 12.8%。近几

年我国能源结构持续改进,但煤炭依然是我国能源消费的主导燃料。煤是潜在的主要化工原料,发展新型煤化工可补充石油化工。水煤浆是国家洁净煤计划发展中的一项重要技术,其作为洁净燃料和气化原料,一直受到国家及地方政府部门

收稿日期:2016-10-18;责任编辑:白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2016.06.005

基金项目:陕西省重大科技创新基金资助项目(2012ZKC03-3)

作者简介:张玉荣(1970—),男,安徽芜湖人,工程师,硕士,从事复合材料的制备和应用研究工作。E-mail: 330382062@qq.com

引用格式:张玉荣,杨鸿鹰,吴有宾.半焦煤样成浆性研究[J].洁净煤技术,2016,22(6):24-27,33.

ZHANG Yurong, YANG Hongying, WU Youbin. Study of slurryability of the semi coke sample [J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(6): 24-27, 33.

的重视,经过30余年的科技攻关和生产实践,水煤浆技术取得了长足发展,已进入工业化推广应用阶段<sup>[1]</sup>。水煤浆添加剂的作用是改变煤粒表面性能,使制得的水煤浆具有高浓度、低黏度和良好的稳定性。由于煤种间的煤质及表面物理化学性质相差很大,因此添加剂的普遍适用性较差,煤种与添加剂之间具有选择性<sup>[2-3]</sup>。王国房<sup>[4]</sup>、孙美洁等<sup>[5]</sup>、戴财胜等<sup>[6]</sup>、朱书全等<sup>[7]</sup>发现碱木质素、木质素磺酸钠等添加剂对煤颗粒有很好的分散和稳定作用。王劲草等<sup>[8]</sup>研究表明影响半焦成浆性的主要因素是煤结构的分解和缩聚而导致的可磨性的变化。为高效利用低阶煤,使其与现有水煤浆技术结合<sup>[9-11]</sup>,既能利用半焦成浆,又能解决褐煤湿法成浆浓度较低,无法满足生产需要的难题,笔者提出以半焦、褐煤为原料制备水煤浆,筛选出性

能优良的木系、萘系、腐植酸系、聚合盐类或其复配物等高效分散剂,研究了分散剂添加量与定黏浓度的关系,并进行了半焦成浆添加剂剪切筛选试验、球磨筛选试验、半焦与褐煤配煤成浆试验,以期拓宽褐煤半焦的应用领域。

## 1 试验

### 1.1 试验原料

试验原料主要有陕西延长石油榆神能源化工有限公司半焦(简称榆神能化半焦)、文玉褐煤、自制添加剂、自来水。榆神能化半焦煤质分析见表1。

由表1可知,榆神能化半焦具有低挥发分、高灰分、高固定碳、低硫、高发热量、热稳定性好等特点,可制备高浓度稳定性好的水煤浆,提高有效气含量,方便气化工序后续工段除渣脱硫的处理。

表1 半焦煤质分析

Table 1 Coal quality analysis of semi coke

工业分析/%					元素分析/%		发热量/	流动温度	固含
$M_t$	$M_{ad}$	$V_{ad}$	$A_{ad}$	$FC_{ad}$	$w(S_{t,ad})$	$w(H_{ad})$	( $MJ \cdot kg^{-1}$ )	$FT/^\circ C$	量/%
1.51	1.48	16.15	17.83	70.66	1.36	2.70	27.37	1 260	98.48

### 1.2 试验设备

XPC-60×100 颚式破碎机, XSB-88 标准振荡筛, HT-2 密封式化验制样机, HLXMQ-φ240×300 球磨(棒磨)机, JB90-D 强力电动搅拌机, CS101-1AB 电热干燥箱, NXS-4C 水煤浆黏度计, NDJ-1 型旋转黏度计, BT-2002 激光粒度分析仪, YP3120 电子天平, MA-35 快速水分仪。

### 1.3 成浆工艺

试验采用实验室小试模拟实际生产工艺,采用湿法直接成浆<sup>[5]</sup>。

剪切成浆:根据级配标准, 0.12~0.25 mm 煤粉质量分数为50%, 0.12 mm 以下占50%。将一定量煤粉、添加剂、水置于烧杯,在转速1 200 r/min 强力搅拌机下剪切10 min,破坏煤粉颗粒水膜,以便添加剂分子吸附。

球磨成浆:在内径325 mm、桶长450 mm 的间断式单桶球磨机中成浆,磨介为钢球。钢球直径为30、20、10 mm 三种,装球率为40%,球磨机的转速率为70%。按预先设定的成浆浓度将破碎至3 mm 的原料煤、分散剂、水同时放入球磨机处理,磨制好的浆料再加稳定剂混捏,并经高剪切处理后进行水煤

浆各项技术指标测试。球磨成浆工艺流程如图1所示。

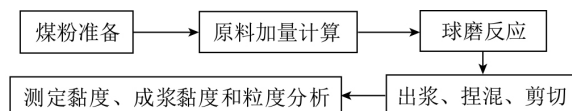


图1 球磨成浆工艺流程

Fig. 1 Ball milling process

## 2 结果与分析

### 2.1 分散剂用量与定黏浓度的关系

榆神能化半焦成浆浓度主要与原料煤、添加剂以及煤浆中粒度分布有关。为了确保煤浆具有较好的流动性,试验时将水煤浆黏度控制在900 mPa·s (100 s<sup>-1</sup>,下同)左右,使水煤浆浓度达到最高。添加剂用量为0.25%、0.30%、0.35%、0.40%、0.45%时定黏浓度分别为67%、67.7%、68%、68%和68%。添加剂用量为0.35%时,水煤浆浓度达到最高68%,继续增大添加剂用量水煤浆浓度变化不明显。

### 2.2 水煤浆稳定性处理

由于运输、贮存的需要,水煤浆制好后需进行稳

定性处理,一般采用加稳定剂和通过高剪切对煤浆进行强化熟化处理。本次试验采用的稳定剂为专用复配稳定剂,用量为0.1%,加入稳定剂可使煤浆中已分散的颗粒相互交联,形成三维空间结构,从而达到有效防止固液分离、煤粒沉淀的目的。

水煤浆流变性由原来的假塑流体变为宾汉流体,屈服应力 $TY$ 值由0增至1.660。黏度由797.6 mPa·s增至849.8 mPa·s。上述各项参数的改变都有利于提高水煤浆稳定性,水煤浆存放一周无析水,搅拌后可恢复到原浆状态。

### 2.3 水煤浆耐剪切(抗老化)能力试验

水煤浆在搅拌、泵送、车船运输过程中均会受到不同程度的剪切作用。在剪切作用下,水煤浆的流变性(流动性和稳定性)会发生改变,所以水煤浆的抗剪切(抗老化)性能是衡量水煤浆质量的一个重要性能指标。水煤浆的耐剪切性能是水煤浆在剪切作用下,能保持原来煤浆的流变性。添加剂用量为0.25%时,制得的水煤浆浓度为61.99%,黏度为887 mPa·s。剪切时间为15、30、45、60 min时,测得的黏度分别为832、787、717、705 mPa·s。搅拌后的水煤浆流变性没有变化,水煤浆黏度反而下降,说明水煤浆的抗剪切能力很好。

### 2.4 水煤浆的粒度分析与堆积效率

在试验确定的磨矿条件下,榆神能化半焦水煤浆的粒度上限为300  $\mu\text{m}$ 。<74  $\mu\text{m}$ 煤粒占80%,<5  $\mu\text{m}$ 煤粒占15%,水煤浆的堆积效率为72%。

## 3 水煤浆理化性能测试

### 3.1 添加剂筛选试验

为得到高效的添加剂,结合煤质分析数据,采用剪切成浆试验,对添加剂进行筛选。添加剂为市场常用的减水剂, MX、NX、FX、JY 分别代表木系、萘系、腐植酸系添加剂、聚合盐类。入料浓度选择64%和69%。半焦成浆的浓度、黏度、析水率、稳定性试验结果见表2。由表2可知,添加剂MX、NX、FX、JY及其复配添加剂对榆神能化半焦成浆均具有分散作用。1~3组试验中,添加量为0.4%,入料浓度64%左右时,水煤浆或析水较多或黏度较大,析水多稳定性差,黏度大流动性差,不能满足生产要求;4~6组试验中,添加量为0.4%,入料浓度69%时,析水较少,但黏度较小;4~8组试验表明,复配添加剂MJ较MX、NX、FX能显著提高水煤浆黏度。分别对比1~3组、4~6组、9~11组试验发现,同等

添加量和入料浓度下,添加剂NX所制水煤浆的析水率最大,分别为10%、2%和1%,FX所制水煤浆黏度最大,为1950、565和2090 mPa·s。NX和FX不适合作为半焦成浆添加剂。综合分析,添加量0.2%,入料浓度69%时,水煤浆析水减少,黏度理想。适宜的添加剂为MX、JY及其复配物MJ,考虑生产成本使用MX更好。榆神能化半焦成浆浓度不宜过低,浓度在69%左右可获得较高的稳定性,理想黏度为800~1200 mPa·s。

表2 半焦剪切成浆试验

Table 2 Experiment of semi coke slurry cutting

序号	添加剂	添加 量/%	入料浓 度/%	成浆浓 度/%	黏度/ (mPa·s)	72 h 析 水率/%	72 h 稳 定性
1	MX	0.4	64	63.73	375	5	好
2	NX	0.4	64	62.52	368	10	软沉淀
3	FX	0.4	64	64.17	1950	0	好
4	MX	0.4	69	67.96	371	0	好
5	NX	0.4	69	67.26	352	2	好
6	FX	0.4	69	67.80	565	0	好
7	JY	0.4	69	68.50	1093	1	好
8	MJ	0.4	69	68.40	1150	1	好
9	MX	0.2	69	68.82	1193	0	好
10	NX	0.2	69	68.62	1234	1	好
11	FX	0.2	69	68.12	2090	1	好
12	JY	0.2	69	68.64	1025	0	好
13	MJ	0.2	69	68.40	1150	1	好

注: MJ 为 MX 和 JY 复配添加剂。

### 3.2 球磨半焦成浆试验

为满足实际生产需要,进行球磨工艺试验,研究了不同添加剂、不同添加量、不同球磨时间下半焦的成浆特性,结果见表3。

由表3可知,球磨反应时间10 min,添加剂添加量0.3%,成浆浓度<68%时,水煤浆黏度很小,析水率>10%,水煤浆不稳定,原因可能是反应时间不够。球磨时间20 min,添加剂与半焦反应充分,使用FX、FJ不成浆,使用MJ可以成浆,但析水率达到10%。使用复配添加剂MFJ,成浆浓度为66.94%时,水煤浆黏度为725 mPa·s,析水率为4%;成浆浓度69.05%时,黏度为800 mPa·s,析水率为1%,稳定性好,都可以满足生产需要。在球磨时间20 min,成浆浓度68%左右,使用复配添加剂MFJ,添加量为0.6%时,可以发挥三者分散、降黏、稳定的协同作用,满足生产的工艺条件。实际生产中应控制好磨机的进煤量,磨机负荷不能太大,钢棒磨损严重时及时加棒。

表3 球磨半焦成浆试验

Table 3 Experiment of semi coke slurry by milling

时间/ min	添加剂	添加 量/%	浓度/ %	黏度/ (mPa·s)	72 h 析 水率/%	72 h 稳 定性
10	MNJ	0.3	62.10	119	>10	沉淀
10	MNJ	0.3	62.50	210	>10	沉淀
10	MX	0.3	59.91	119	>10	沉淀
10	NX	0.3	60.30	430	>10	沉淀
10	MJ	0.3	不成浆	—	—	—
20	FX	0.4	不成浆	—	—	—
20	MJ	0.4	67.14	901	10	软沉淀
20	MFJ	0.6	66.94	725	4	软沉淀
20	FJ	0.4	不成浆	—	—	—
20	MFJ	0.6	69.05	800	1	好

注: MNJ 为 MX、NX 和 JY 复配添加剂, MFJ 为 MX、FX、JY 复配添加剂, FJ 为 FX、JY 复配添加剂。

### 3.3 半焦配煤成浆试验

为解决褐煤成浆浓度低的问题,考虑褐煤本身含有较多腐植类物质,利用褐煤和半焦进行配煤成浆试验。试验采用球磨工艺,球磨时间为 10 min,添加剂添加量为 0.3%,分析了文玉褐煤与榆神能化半焦不同质量比和不同添加剂条件下,水煤浆的浓度、黏度、析水率和稳定性,结果见表 4。

表4 半焦配煤成浆试验

Table 4 Experiment of semi coke blending slurry

文玉褐煤与榆神 能化半焦质量比	添加剂	浓度/ %	黏度/ (mPa·s)	72 h 析 水率/%	72 h 稳 定性
5:5	MX	61.31	1 440	2	好
4:6	MX	61.36	1 225	2	好
3:7	MX	61.05	988	3	好
2:8	MX	60.74	1 090	6	软沉淀
5:5	FX	60.83	2 875	4	好
3:7	FX	61.28	1 150	4	好

由表 4 可知,配煤成浆可行。文玉褐煤与榆神能化半焦质量比为 3:7 或 2:8 时,可使用添加剂 FX 和 MX,添加剂量为 0.3%,成浆浓度 61% 左右,水煤浆黏度为 (1 000±200) mPa·s,稳定性 72 h 析水率<7%,无硬沉淀,均可达到实际生产需要。其他配比水煤浆的黏度超标,不利于管道输送,无法满足生产需要。

利用水煤浆专用激光粒度仪对以上浆体进行粒度分析,粒径<300 μm 质量分数为 100%、<74 μm 质量分数为 80%、<5 μm 质量分数为 15%,均能满足实际生产指标要求。

## 4 结 论

1) 成浆试验表明,添加剂 MX、NX、FX、JY 及其复配添加剂对榆神能化半焦成浆均具有一定分散作用。但榆神能化半焦成浆浓度过低会出现浆体不稳定现象,成浆浓度宜控制在 69% 左右,添加剂的用量在 0.2%,可获得理想黏度(800~1 200 mPa·s)、稳定性好的浆体。

2) 文玉褐煤和榆神能化半焦配比在 3:7 或 2:8 时,可使用添加剂 MX 和 FX,添加剂量为 0.3%,成浆浓度 61% 左右,煤浆黏度、稳定性(72 h 析水率<7%,无硬沉淀)均达到实际生产需要。其他配比黏度超标,不能满足生产需要。

3) 在选择合适添加剂的基础上,半焦单独成浆,半焦与褐煤配煤成浆均可达到实际生产要求,不但加大了半焦的应用范围,也解决了褐煤单独湿法制浆浓度过低的问题,具有市场推广价值。

### 参考文献 (References):

[1] 李安.水煤浆技术发展现状及其新进展[J].煤炭科学技术,2007,35(5):97-100.  
Li An. Development status and new development of coal water mixture technology [J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(5): 97-100.

[2] 刘明强,刘建忠,王传成,等.水煤浆添加剂研究及发展动向[J].现代化工,2011,31(7):8-10.  
Liu Mingqiang, Liu Jianzhong, Wang Chuancheng, et al. Research and development of coal water slurry additives [J]. Modern Chemical Industry, 2011, 31(7): 8-10.

[3] 姚彬,张玉荣,杨鸿鹰.水煤浆稳定剂研究现状[J].煤炭科学技术,2013,41(11):124-128.  
Yao Bin, Zhang Yurong, Yang Hongying. Study status on stabilizer of coal water slurry [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(11): 124-128.

[4] 王国房.碱木质素改性制备气化水煤浆添加剂[J].煤炭学报,2013,38(4):688-693.  
Wang Guofang. Study on additive preparation for gasification CWM by using behaved alkalinity lignin [J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(4): 688-693.

[5] 孙美洁,涂亚楠,楚天成,等.木质素磺酸钠对水煤浆稳定性的影响研究[J].煤炭工程,2014,46(11):109-113.  
Sun Meijie, Tu Yanan, Chu Tiancheng, et al. Study on influence of sodium lignosulfonate to coal water slurry stability [J]. Coal Engineering, 2014, 46(11): 109-113.

[6] 戴财胜,杨红波.复合型水煤浆添加剂的合成与性能研究[J].煤化工,2008,36(1):41-43.  
Dai Caisheng, Yang Hongbo. Preparation and property of composite additives for coal water slurry [J]. Coal Chemical Industry, 2008, 36(1): 41-43.

(下转第 33 页)

- the coking industry of china[J]. Coal Chemical Industry, 2004, 32(4): 1-3.
- [4] 周良斌, 张海平, 朱应军, 等. 高硫焦煤的煤质研究及优化应用[J]. 武钢技术, 2014, 52(4): 1-3.  
Zhou Liangbin, Zhang Haiping, Zhu Yingjun *et al.* Coal quality research and optimization applications for high sulfur coking coal[J]. Wuhan Iron and Steel Corporation Technology, 2014, 52(4): 1-3.
- [5] 张立岗. 中高硫瘦煤配煤炼焦试验及应用研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(4): 47-50.  
Zhang Ligang. Coal quality research and optimization applications for high sulfur coking coal[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(4): 47-50.
- [6] 齐 炜. 炼焦过程中硫元素迁移规律研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(1): 34-36.  
Qi Wei. Sulfur migration law during coking process[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(1): 34-36.
- [7] 戴财胜, 邱 平. 混煤的流化床热解动力学研究[J]. 煤炭转化, 2013, 36(2): 25-27.  
Dai Caisheng, Qiu Ping. Study on the pyrolysis kinetics of blended coal in the fluidized-bed reactor[J]. Coal Conversion, 2013, 36(2): 25-27.
- [8] 平传娟, 周俊虎, 程 军, 等. 混煤热解反应动力学特性研究[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(17): 6-10.  
Ping Chuanjuan, Zhou Junhu, Cheng Jun *et al.* Research on the pyrolysis kinetics of blended coals[J]. Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering, 2007, 27(17): 6-10.
- [9] 赵丽红, 楚希杰, 辛桂艳. 煤热解特性及热解动力学的研究[J]. 煤质技术, 2010(1): 40-42.  
Zhao Lihong, Chu Xijie, Xin Guiyan. Research on pyrolysis characteristics and pyrolysis kinetics of coal[J]. Coal Quality Technology, 2010(1): 40-42.
- [10] 闫金定, 崔 洪, 杨建丽, 等. 热重质谱联用研究兖州煤的热解行为[J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32(3): 311-315.  
Yan Jinding, Cui Hong, Yang Jianli *et al.* Research on pyrolysis behavior of yanzhou coal using TG/MS[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2003, 32(3): 311-315.
- [11] 谢克昌. 煤的结构与反应性[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 212.
- [12] Vlaev L T, Markovska I G, Lyubchev L A. Non-isothermal kinetics of pyrolysis of rice husk[J]. Thermochimica Acta, 2003, 406(1/2): 1-7.
- [13] 常 瑜, 李 林, 梁丽彤, 等. 内蒙和印尼褐煤的热解特性及动力学分析[J]. 煤炭转化, 2011, 34(2): 4-7.  
Chang Yu, Li Lin, Liang Litong *et al.* Study on the pyrolysis characteristics and kinetics of mongolia lignite and indonesian lignite[J]. Coal Conversion, 2011, 34(2): 4-7.
- [14] 胡荣祖, 史启祯. 热分析动力学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2008: 54-55.
- [15] 董爱霞, 张守玉, 王 健, 等. 煤焦燃烧特性及反应活性探究[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(1): 87-91.  
Dong Aixia, Zhang Shouyu, Wang Jian *et al.* Combustion performance and reaction activity of coal char[J]. Clean Coal Technology, 2013, 19(1): 87-91.
- [16] 张 媛, 张海亮, 蒋雪冬, 等. 烟煤与生物质秸秆共气化反应动力学研究[J]. 西安交通大学学报, 2011, 45(8): 123-128.  
Zhang Yuan, Zhang Hailiang, Jiang Xuedong *et al.* Reactivity and kinetics of bitumite and wheat straw blends during co-gasification[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2011, 45(8): 123-128.
- [17] 武宏香, 李海滨, 赵增立. 煤与生物质热重分析及动力学研究[J]. 燃料化学学报, 2009, 37(5): 538-545.  
Wu Hongxiang, Li Haibin, Zhao Zengli. Thermogravimetric analysis and pyrolytic kinetic study on coal/biomass blends[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2009, 37(5): 538-545.
- [18] 黄元波, 郝志峰, 蒋剑春, 等. 核桃壳与煤共热解的热重分析及动力学研究[J]. 林产化学与工业, 2012, 32(2): 30-36.  
Huang Yuanbo, Zhao Zhifeng, Jiang Jianchun *et al.* Thermogravimetric analysis and kinetics of walnut shell and coal co-pyrolysis[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2012, 32(2): 30-36.
- [19] Essenhigh R H, Misra M K. Autocorrelations of kinetic parameters in coal and char reactions[J]. Energy Fuel, 1990, 4(2): 171-177.
- ~~~~~
- (上接第27页)
- [7] 朱书全, 邹立壮, 黄 波, 等. 水煤浆添加剂与煤之间的相互作用规律研究 I: 复合煤颗粒间的相互作用对水煤浆流变性的影响[J]. 燃料化学学报, 2003, 31(6): 519-524.  
Zhu Shuquan, Zou Lizhuang, Huang Bo *et al.* Study on the interaction characteristics between different CWS dispersants and coals I: effect of the interaction of complex coal particle on CWS rheological behavior[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2003, 31(6): 519-524.
- [8] 王劫草, 阳 金, 党钾涛, 等. 低阶烟煤热解半焦制浆粘度模型的建立[J]. 黑龙江科技学院学报, 2013, 23(2): 120-123.  
Wang Jincan, Yang Jin, Dang Jiatao *et al.* Development of slurry viscosity model from low rank bituminous coal pyrolyzed at medium-low temperature[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science and Technology, 2013, 23(2): 120-123.
- [9] 吴国光, 郭朝冰. 水煤浆成浆试验研究与制备因素分析[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(11): 544-546.  
Wu Guoguang, Guo Chaobing. Experimental research and analysis of factors influencing CWS preparation[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(11): 544-546.
- [10] 张荣曾. 水煤浆成浆技术[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [11] 高志芳, 朱书全, 黄 波, 等. 粒度分布对提质褐煤水煤浆性能影响的研究[J]. 选煤技术, 2009(1): 1-6.  
Gao Zhifang, Zhu Shuquan, Huang Bo *et al.* Research on effect of particle size distribution of modified lignite-water slurry[J]. Coal Preparation Technology, 2009(1): 1-6.