

煤炭加工

煤泥水磁化改性及磁化-絮凝沉降研究

李建军, 乔尚元, 朱金波, 闵凡飞, 刘令云, 张丽亭

(安徽理工大学 材料科学与工程学院 安徽省现代矿业工程重点实验室, 安徽 淮南 232001)

摘要:为研究磁化作用对煤泥颗粒同种表面电荷(ζ 电位)及表面水化膜的影响,以磁场强度和磁化时间为变量对煤泥水进行磁化处理试验。采用自然沉降、絮凝沉降、混凝沉降和预磁化-絮凝沉降等方法对煤泥水进行沉降处理,分析沉降特性,揭示煤泥水磁化处理作用机理。结果表明,在0.15~0.25 T磁场下预磁化2~3 min时,煤泥颗粒的 ζ 电位由30.5 meV降至20.1 meV,煤泥颗粒的表面水化膜明显减薄。混凝沉降与预磁化-絮凝沉降的沉降速度、尾泥高度均明显优于单纯的絮凝沉降,而预磁化-絮凝沉降在沉降速度、上清液透光率、尾泥高度等方面又优于混凝沉降,尾泥高度减少25%,煤泥水透光率达到82.2%。

关键词:磁化处理;高泥化煤泥水; ζ 电位;絮凝沉降

中图分类号:TM277;TM285 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)04-0001-04

Magnetization modification and pre-magnetization flocculation and sedimentation of slime water

LI Jianjun, QIAO Shangyuan, ZHU Jinbo, MIN Fanfei, LIU Lingyun, ZHANG Liting

(Department of Materials Science and Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In order to investigate the influence of magnetization on same surface charge (ζ potential) of slime and surface hydration shell, the magnetization test on slime water was conducted taking magnetic field intensity and magnetizing time as variables. The slime water was clarified by natural sedimentation, flocculation, coagulation sedimentation, pre-magnetization flocculation and sedimentation method respectively. The sedimentation characteristics and magnetization mechanism were investigated. The results showed that, after being pre-magnetized for 2 minutes to 3 minutes under 0.15 T to 0.25 T magnetic field, the ζ potential of slime was decreased from 30.5 meV to 20.1 meV, the thickness of surface hydration shell was reduced obviously. The sedimentation velocity and tailings height of coagulation sedimentation, and pre-magnetization flocculation and sedimentation were better than those of flocculation sedimentation. The sedimentation velocity, supernatant transmittance, tailings height were better than those of pre-magnetization flocculation and sedimentation. The tailings height decreased by 25%, the supernatant transmittance could reach 82.2%.

Key words: magnetic treatment; high concentration slime water; ζ potential; flocculation

0 引 言

煤泥水处理是实现煤泥水闭路循环,确保清水选煤和水资源循环利用的关键环节^[1]。目前,我国现代化选煤厂总体上实现了煤泥水闭路循环,但多数煤泥水处理系统还存在处理效率低下,循环水不

达标等问题。主要原因是随着选煤机械化程度的提高,细粒煤所占比例增大,造成煤泥沉降困难。如浮选产生的煤泥水中<0.045 mm颗粒所占比例接近90%^[2-3]。同时大型机械开采使原煤中矸石、黏土矿物等成分增加,造成煤泥水泥化程度升高,形成高泥化煤泥水。由于悬浮颗粒表面多带有同种表面电

收稿日期:2014-08-31;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.04.001

基金项目:中国博士后科学基金资助面上项目(2013M531497);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20133415120004)

作者简介:李建军(1975—),男,河南鹤壁人,副教授,博士,从事煤泥水磁化、磁性材料的研究工作。E-mail:lijj3@aust.edu.cn

引用格式:李建军,乔尚元,朱金波,等.煤泥水磁化改性及磁化-絮凝沉降研究[J].洁净煤技术,2015,21(4):1-4,11.

LI Jianjun, QIAO Shangyuan, ZHU Jinbo, et al. Magnetization modification and pre-magnetization flocculation and sedimentation of slime water [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(4): 1-4, 11.

荷(ζ 电位),同性相斥,导致这些微粒在水中保持分散状态而难以沉降,颗粒间的相互作用可由 DLVO (Derjguin-Landau-Verwey-Overbeek) 理论解释^[4]。同时,颗粒表面电荷对其临近的极性水分子产生定向吸附作用,在颗粒表面形成几个分子层的水化膜,水化膜阻碍胶粒之间及胶粒与絮凝剂分子之间的相互结合^[5-6]。颗粒表面电位和水化膜是影响絮凝沉降的重要微观机制,为此生产中在加入絮凝剂之前添加絮凝剂,以中和悬浮颗粒表面的负电荷。煤泥水混凝处理效果一般比单纯絮凝沉降效果好,但对于高泥化煤泥水系统的处理效果不佳,对个别极难处理的高泥化煤泥水,混凝处理甚至完全失效^[7],这说明仅靠添加絮凝剂难以有效改善颗粒表面的电荷及水化膜性质。减薄悬浮液中悬浮颗粒的水化膜厚度,减小颗粒表面的 ζ 电位,除采用阳离子金属盐药剂处理外,还可通过调节悬浮液的 pH 值^[8]、电化学处理等方法实现。董宪妹等^[9]通过电化学预处理,有效改变了煤泥水中固体颗粒表面的电荷量,从而促进悬浮颗粒的絮凝沉降。研究表明在较强磁场下对水溶液进行磁化,可降低悬浮颗粒的表面电位,增强水的物化活性^[10-11]。同时,由于磁化作用对水溶液中颗粒的湿润、溶解、凝聚及化学反应等动力学过程具有重要影响,可促进污水体系的固液分离^[12-13]。若将磁化处理与煤泥水处理相结合,有望提高煤泥水沉降速度,提高澄清效果。笔者对煤泥水进行强磁场磁化处理,研究了悬浮颗粒表面的 ζ 电位、水化膜厚度与磁化强度的关系,分别采用自然沉降、絮凝沉降、混凝沉降和预磁化-絮凝沉降等方法对煤泥水进行沉降处理,并对其沉降特性进行对比分析,揭示了煤泥水磁化处理的作用机理。

1 试验条件

1.1 试剂及试验设备

试验选用的煤泥水采自淮南新庄孜选煤厂的一段溢流,絮凝剂为 1400 万分子质量的阳离子型聚丙烯酰胺(PAM),凝聚剂为聚合氯化铝(PAC)。

利用唐山市师达自动化仪表公司生产的 CXG-08SD 型磁选管(磁场 0~0.35 T 无极可调)对煤泥水进行磁化预处理,使用时对其结构进行了适当改造;采用日本岛津公司的 LabX XRD-6000 型 X 射线衍射仪(XRD)分析煤泥水固体悬浮物的矿物组成;利用日本岛津公司的 SALD-7101 激光粒度仪测量煤泥水中矿物颗粒的粒径分布;利用 Hitachi

U3010 UV-Vis 分光光度计检测煤泥水样品最大吸收波长处的透光率;利用美国 Colloidal-Dynamics 公司的 ZetaProbe 电位仪检测不同条件处理后煤泥水的 ζ 电位。

1.2 试验方法

1)煤泥水性质表征。利用激光粒度仪对煤泥水粒度分布进行分析;在 75 °C 下对煤泥水进行烘干处理,称量固体矿物含量,并进行 XRD 分析。

2)利用磁选管对煤泥水进行磁化处理,将一部分磁化水快速(2 min 内)转移到 ζ 电位仪中进行电位测量;将另一部分磁化水转移至量筒中进行絮凝沉降试验。

3)煤泥水絮凝处理试验。以去离子水为溶剂,预先配制质量浓度 0.1 g/L 的 PAM 絮凝剂溶液和 0.1 g/L 的 PAC 溶液。将煤泥水充分摇匀后,取 4 份 100 mL 高浓度煤泥水,分别进行自然沉降、絮凝沉降(加入 2mL PAM 溶液)、混凝沉降(先加入 1 mL PAC 溶液,再加入 2mL PAM 溶液)、磁场预磁化-絮凝沉降(先磁化 2 min,再絮凝沉降)试验,并对煤泥水的沉降速度、上清液透光率、尾泥体积进行对比分析。

2 结果与讨论

2.1 煤泥水理化性质分析

试验选取的煤泥水为高浓度难沉降煤泥水,其基本物理性质为:常温 pH 值 8.5,固体矿物质量浓度 22.4 g/L。煤泥水激光粒度分析如图 1 所示。由图 1 可知,煤泥水中固体悬浮颗粒的粒径较小,<0.01 mm 极微细颗粒占 92% 以上,其中<5 μm 颗粒约为 67.5%。根据絮凝沉降理论,悬浮颗粒粒径越小,悬浮物颗粒所受浮力和黏滞力越大,越难以沉降澄清^[14-15]。

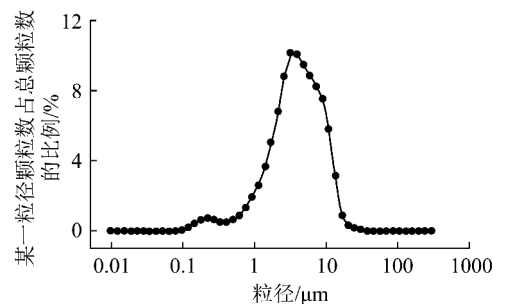


图1 煤泥水中悬浮颗粒的粒径分布

烘干后煤泥水固体矿物的 XRD 分析如图 2 所示。由图 2 可知,试验煤泥水中主要含有细煤泥、石

英、高岭石、绿泥石及少量伊利石、方解石矿物。其中高岭石、绿泥石等易泥化的矿物含量较高,其泥化形成的胶粒或胶团表面带有较强负电荷,使悬浮颗粒间存在较大静电斥力。根据 DLVO 理论,静电斥力的增大将增加悬浮颗粒(或胶团)间凝聚的势垒,使煤泥水极难凝聚沉降。自然澄清试验表明,煤泥水静置 12 h 仍无法自然澄清。

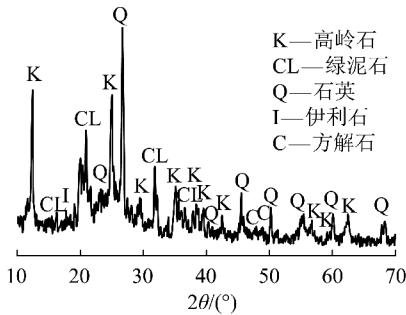


图2 煤泥水固体矿物的 XRD 分析

2.2 煤泥水磁化处理

在较强磁场下对水溶液进行磁化处理,可以破坏溶液中,特别是颗粒表面吸附水层的类晶体结构。水分子链状结构的打破,减弱了固体颗粒表面的水合作用,从而减小其水化膜厚度和 ζ 电位值^[16-17]。0.15 T 磁场作用下,煤泥水 ζ 电位随磁化时间的变化如图 3 所示。由图 3 可知,未经处理的煤泥水 ζ 电位约为 30.5 meV,说明煤泥水悬浮颗粒间静电作用力大,难以絮凝沉降。在 0.15 T 较强磁场作用下,煤泥水 ζ 电位明显下降,下降速度先快后慢。经 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 min 磁场处理后 ζ 电位值分别为 26.8、23.5、21.4、20.7、20.1 meV,此后 ζ 电位值略有升高,在 20.3 meV 附近震荡后趋于稳定。这说明经磁化处理 2.5 min 后,水分子类晶结构的破坏过程与生成过程趋于动态平衡,煤泥矿物颗粒固体表面的水合作用趋于稳定。

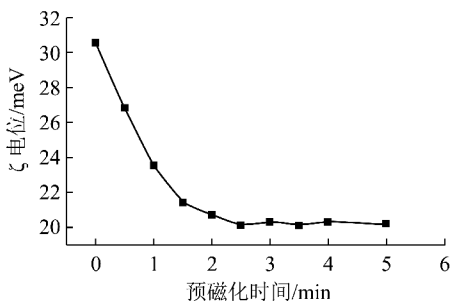


图3 煤泥水 ζ 电位随磁化时间的变化

外加磁场强度对磁化作用有重要影响。磁化 2 min 时, ζ 电位随磁场强度的变化如图 4 所示。由

图 4 可知,磁场强度太小时(0.05 T),磁化作用较弱, ζ 电位小幅下降;磁场强度太大时(0.35 T),磁化作用不增反降, ζ 电位有所上升,最终确定最佳磁场强度为 0.15 ~0.25 T。

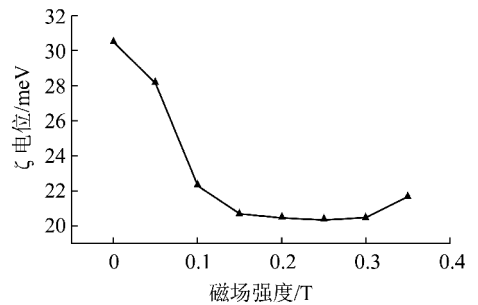


图4 ζ 电位随磁场强度的变化

2.3 煤泥水的预磁化-絮凝沉降

选煤厂常用的煤泥水处理工艺包括絮凝和混凝(凝聚+絮凝)2 种。磁化处理对煤泥水的改性效果与向煤泥水中添加凝聚剂有类似之处,都可降低悬浮颗粒的 ζ 电位。因此,先对煤泥水进行预磁化处理,然后进行絮凝处理,应该可以提高其沉降效果。为对比不同工艺的处理效果,对煤泥水分别采用自然沉降、絮凝沉降、混凝沉降、预磁化-絮凝沉降 4 种方法进行澄清处理,并对比分析了各工艺的煤泥沉降速度、絮团压实程度等,具体见表 1。4 种方式下的上清液透光率如图 5 所示。

由表 1 可知,混凝沉降与预磁化-絮凝沉降的沉降速度、尾泥高度均明显优于单纯的絮凝沉降,说明减小悬浮颗粒的 ζ 电位(减薄水化膜厚度)对于煤泥絮团的形成、沉降至关重要。相对于混凝沉降,预磁化处理后的煤泥水絮团生成和沉降速度更快。混凝沉降絮团完成沉降约 3 min,预磁化处理后的煤泥水在 1 min 时已基本完成絮团沉降。同时,磁化处理煤泥水的尾泥压缩程度略优于混凝沉降,其最终尾泥高度分别为 15 和 20 mm。

由图 5 可知,经预磁化-絮凝沉降与混凝沉降处理的煤泥水的澄清速度明显高于单纯絮凝沉降处理,经 2 min 沉降处理后,煤泥水透光率分别达到 82.2% 和 81.4%。

2.4 预磁化-絮凝沉降机理

与单纯絮凝沉降相比,预磁化-絮凝沉降与混凝沉降工艺处理煤泥水效果更优,其中悬浮颗粒 ζ 电位的降低起到了至关重要的作用。根据 DLVO 理论, ζ 电位的降低可减小悬浮颗粒之间相互聚集的静电势垒,有效促进煤泥颗粒的凝聚。同时,这些

表1 不同处理方式下煤泥水沉降试验

时间/min	上层清水高度/mm				尾泥高度/mm			
	自然沉降	絮凝沉降	混凝沉降	预磁化-絮凝沉降	自然沉降	絮凝沉降	混凝沉降	预磁化-絮凝沉降
1	0	71	80	84	—	25	22	18
2	0	76	84	87	—	28	23	18
3	0	79	86	90	—	28	22	17
4	0	81	87	92	7	27	21	16
6	0	83	88	94	8	26	20	15
8	0	84	89	94	8	25	20	15

注:煤泥水沉降的中间状态存在一定高度的混合层。

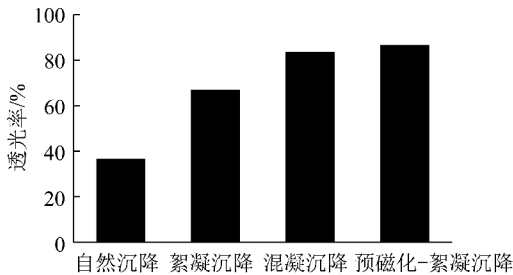


图5 4种沉降方法的煤泥水上清液透光率

电荷脱稳的悬浮颗粒和凝聚体也更容易与絮凝剂高分子作用形成密实的絮团,实现煤泥快速絮凝沉降。采用预磁化-絮凝沉降与混凝沉降处理煤泥水的效果有所不同,前者的尾泥体积明显小于后者,且前者絮团沉降速度略快、上清液更清。

这说明2种煤泥水处理工艺,虽然都可降低悬浮颗粒 ζ 电位,但作用机制不同。预磁化-絮凝沉降是通过添加无机凝聚剂实现 ζ 电位的降低,理论较为成熟。即凝聚剂在溶液中水解产生高价金属离子,这些离子通过扩散与离子交换等作用与悬浮颗粒中扩散层内的阳离子发生置换作用,从而压缩双电层,减小 ζ 电位。而混凝沉降作用建立在强磁场对带电微粒与极性水分子的磁化作用基础上。悬浮颗粒具有双电层结构,因此其表面带有一定的电荷,在静电作用下,其表面上包覆有几个分子层的类晶体水分子(即水化膜)。当悬浮颗粒及其束缚水在磁场中做切割磁力线运动时,颗粒表面的双电层结构及水分子的类晶体结构被破坏,释放出自由水,从而降低了悬浮颗粒的 ζ 电位,同时也减小了颗粒表面水化膜的厚度^[9,18-19];加之经磁化处理后的煤泥水中水分子活性增大、黏滞力小,絮团更容易沉降,絮团中水分也更小。由于磁化处理可作用于包括胶体在内的任意微小颗粒,因此可促进上清液中微小胶体颗粒的凝聚沉降,降低胶体浓度,减小对光的散射,从而提高上清液透光率。相关的微观磁作用机

理尚需进一步研究。

3 结 论

1)利用强磁场对高泥化煤泥水进行磁化处理,发现在0.15~0.25 T磁场下磁化处理2~3 min可使煤泥颗粒的 ζ 电位从30.5 meV降至20.1 meV,并减薄悬浮颗粒表面的水化膜。

2)对煤泥水进行自然沉降、絮凝沉降、混凝沉降、预磁化-絮凝沉降处理,发现预磁化-絮凝沉降在沉降速度、上清液透光率、尾泥高度等方面均优于混凝沉降,其中尾泥高度减少25%。

参考文献:

- [1] 张明旭. 煤泥水处理[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2000:1-12.
- [2] 张英杰,巩冠群,吴国光. 煤泥水处理方法研究[J]. 洁净煤技术,2014,20(3):1-4.
- [3] 温雪峰,李昌平,关嘉华,等. 浮选尾煤煤泥水特性及沉降药剂的选择性研究[J]. 煤炭工程,2004,36(2):55-57.
- [4] 谢广元,施秀屏,欧泽深,等. 煤泥水处理中絮凝剂的正确选择和使用[J]. 选煤技术,2009(4):33-36.
- [5] 闵凡飞,张明旭,朱金波. 高泥化煤泥水沉降特性及凝聚剂作用机理研究[J]. 矿冶工程,2011,31(4):55-62.
- [6] 朱书全,降林华,邹立. 微细粒煤泥水用絮凝剂的合成与应用[J]. 中国矿业大学学报,2009,38(4):534-539.
- [7] 匡亚莉,亓欣,邓建军,等. 选煤厂高泥化煤泥水絮凝沉降的实验[J]. 洁净煤技术,2010,16(3):9-13.
- [8] Liu Lingyun, Hu Yang, Min Fanfei, et al. Characterizations and stability of colloidal coal-measure kaolinite in aqueous suspensions: a review[J]. Surface Review and Letters, 2013, 20(1):1330001-1-1330001-9.
- [9] 董宪姝,姚素玲,刘爱荣,等. 电化学处理煤泥水沉降特性的研究[J]. 中国矿业大学学报,2010,39(5):753-757.
- [10] Wang Qiuliang, Dai Yingming, Zhao Baozhi, et al. Development of high magnetic field superconducting magnet technology and applications in China[J]. Cryogenics, 2007, 47(7/8):364-379.

(下转第11页)

4)若弧形筛长时间停用,应打开给料箱的检查口,清除节流板上矿物,以免淤结,影响下次使用。

5)定期检查节流板的保护层是否磨损脱落,筛面是否磨损堵塞等。

3 效益分析

斜沟煤矿选煤厂年入选原煤 1500 万 t,粗煤泥量占混煤产率的 7% 左右,粗煤泥水分由 14% 降至 10%,混煤水分降低 0.2%,发热量增加 0.48 MJ/kg,提高了混煤综合产率^[9]。混煤产率按 60% 计算,每年可减少铁路无用运输 1.8 万 t。铁路运费、装卸费等为 180 元/t,每年可节省运费 324 万元。

弧形筛改装成振动击打弧形筛后,脱水效率得以提高,降低了后续离心机负荷,节省了筛篮磨损更换费用。每台离心机每年可节省筛篮 6 个,全厂共 8 台离心机,每年共节省筛篮更换费用 48 万元。

4 结 语

弧形筛改装成振动击打弧形筛后,脱水效率更高,运行可靠,操作简单,维护方便,解决了传统弧形

筛脱水效率差的弊端。离心机工作状况得到改善,满足了客户对产品指标的要求,提高了混煤综合产率,降低了铁路运输成本,提高了市场竞争力,经济效益可观。

参考文献:

- [1] 顾庆丰,鲍玉新. 振动弧形筛的应用及技术革新[J]. 煤矿机械,2009,30(6):142-143.
- [2] 杜力,姚军民. 石壕矿选煤厂降低介耗的措施[J]. 河北能源职业技术学院学报,2011(3):80-81.
- [3] 赵宇. 普通弧形筛在葛泉矿洗煤厂的实际应用[J]. 企业导报,2013(10):297.
- [4] 谢广元,解京元,李文林,等. 选煤厂产品脱水[M]. 2版. 徐州:中国矿业大学出版社,2008:24-28.
- [5] 潘月军. 补连塔选煤厂弧形筛改造与应用[J]. 中国科技教育:理论版,2013(3):21-22.
- [6] 邓晓阳,周少雷,解京选,等. 选煤厂机械设备安装使用与维护[M]. 2版. 徐州:中国矿业大学出版社,2008:89.
- [7] 刘军. 弧形筛在哈拉沟洗煤厂的作用及存在问题的研究[J]. 中国新技术新产品,2008(10):102.
- [8] 程志红,王建波. 开拓选煤厂弧形筛的改造[J]. 煤炭加工与综合利用,2010(9):16-18.
- [9] 虞继舜,戴中蜀,何选明,等. 煤化学[M]. 北京:冶金工业出版社,2008:61-62.
- [10] 匡世波. 基于离散单元法气力输送的数值模拟研究[D]. 沈阳:东北大学,2006.
- [11] 彭小敏,朱立平,袁竹林. 煤粉粒径对密相气力输送流型影响的数值模拟[J]. 燃烧科学与技术,2012,18(4):373-383.
- [12] 梁财. 高压超浓相煤粉气力输送流动特性研究[D]. 南京:东南大学,2007.
- [13] 郝晓琳. 气力输送系统中粉料流动机理及实验研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2006.
- [14] 鹿鹏,陈晓平,梁财,等. 不同煤粉高压密相气力输送特性实验研究[J]. 中国电机工程学报,2009,29(5):16-20.
- [15] 许盼,陈晓平,梁财,等. 不同外水含量下煤粉高压密相输送试验研究[J]. 煤炭学报,2010,35(8):1359-1363.
- [16] 沈湘林,熊源泉. 煤粉加压密相输送实验研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(24):103-107.
- [11] 李哲,边炳鑫,何京东. 磁化技术对煤泥水处理工艺影响的研究[J]. 黑龙江矿业学院学报,1998,8(3):6-8.
- [12] 贾亮,李真,贾绍义. 磁化技术在工业水处理中的应用[J]. 化学工业与工程,2006,23(1):59-64.
- [13] 曹雨平,邓阳清,刘亚凯. 磁分离技术处理油污污染地下水的实验研究[J]. 磁性材料及器件,2011,42(1):59-62.
- [14] 吴春笃,段明飞,解清杰. 磁絮凝法处理泵站溢流污水试验研究[J]. 水处理技术,2011,37(6):38-49.
- [15] 常青. 水处理絮凝学[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,2011:6-48.
- [16] 赵志强. 煤泥水的磁处理[J]. 选煤技术,1999(4):13-14.
- [17] Hu Yang, Liu Lingyun, Min Fanfei, et al. Hydrophobic agglomeration of colloidal kaolinite in aqueous suspensions with dodecylamine[J]. Colloids and Surfaces A: Physic Chemical and Engineering Aspects, 2013, 434(10):281-286.
- [18] 吕玉庭,赵颖丽,时起磊. 磁场对煤泥水絮凝沉降效果的影响[J]. 黑龙江科技学院学报,2013,23(5):424-427.
- [19] 李建军,朱金波,张丽亭,等. 磁选技术在水污染治理中的应用[J]. 水处理技术,2012,38(7):9-13.

(上接第4页)

(上接第8页)

- [5] Rosin A, Schroder H W, Repke J U. Briquetting press as lock-free continuous feeding system for pressurized gasifiers[J]. Fuel, 2014, 116:871-878.
- [6] 夏支文,井云环. CO₂ 作为密相输送载气在 GSP 气化技术中的应用[J]. 洁净煤技术,2012,18(5):49-51.
- [7] Coperion K-Tron. Bulk solids pump[EB/OL]. [2014-10-10]. <http://www.ktron.com/process-equipment/feeders/feeding-equipment/bsp-technology.cfm>.
- [8] 吴家桦,陈鹏,王晓亮,等. 煤粉高压密相气力输送技术研究现状与前景展望[J]. 东方电气评论,2013,27(4):27-34.
- [9] Zenz F A, Othmer D F. Fluidization and fluid-particle systems[M]. New York: Reinhold, 1960.