

述 评

煤泥调浆机理与设备发展历程及应用

马力强,孙先凤,黄根,于跃先

(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083)

摘要:调浆是浮选前必不可少的环节。为全面了解煤泥调浆工艺,论述了我国煤泥调浆设备的发展历程,详细阐述了煤泥调浆机理,并通过实验室试验和BGT表面改质调浆机工业应用试验分析了煤泥调浆效果。药剂分散、煤粒与药剂有效碰撞及煤粒表面擦洗是煤泥调浆的主要机理。我国煤泥调浆设备的发展经历了从简单的搅拌桶,到调浆效果得到进一步提升的矿浆准备器、矿浆预处理器,再到矿化效果更佳的表面改质机的发展历程。实验室试验及工业试验结果表明,加强调浆环节可有效改善煤泥浮选效果,浮选前充分调浆是改善后续浮选效果的关键。

关键词:煤泥调浆;调浆机理;发展历程;工业应用

中图分类号:TD943.2 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2018)01-0001-05

Mechanism of coal slime conditioning and equipment development history and industrial application

MA Liqiang, SUN Xianfeng, HUANG Gen, YU Yuexian

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

Abstract: Coal slime conditioning is an important link before flotation. In order to get a comprehensive understanding of coal conditioning, the mechanism and development history of coal slime conditioning in China were elaborated. Bench-scale test and industrial application of BGT surface-modification conditioning machine were stated to analyse the effect of coal slime conditioning. The main mechanisms of coal slime conditioning includes reagent dispersion, effective collisions between particles, reagents and surface cleaning. The development of coal slime conditioning equipment has gone through from the simple mixing tank to further enhance pulp preparation tank, pulp pre-processor, and then to surface modified slurry machine which has better mineralization. The data of laboratory and industrial tests illustrates that strengthening the conditioning can dramatically improve the coal flotation effect. Sufficient conditioning plays a key role in flotation.

Key words: coal slime conditioning; conditioning mechanism; development; industrial application

0 引 言

浮选工艺的调浆环节(又称为矿浆预处理、矿浆准备)包括浮选药剂的分散,与矿粒的充分接触、吸附,甚至于矿粒表面改质等过程。实践证明,受分选环境的制约,这一过程在浮选设备中难以充分完成,因此浮选工艺中,对矿浆进行预处理十分必

要^[1]。国内外学者对调浆过程进行了大量研究,结果表明浮选前调浆对后续浮选效果提升显著。Chen等^[2-3]、Engel等^[4]研究发现,高剪切调浆极大提高了8~75 μm 粒级镍黄铁矿的浮选速度和回收率,但对于<8 μm 微细颗粒的改善作用不明显。Feng等^[5]也证实了高剪切调浆对镍黄铁矿浮选的促进作用。高剪切调浆对许多矿石的浮选均有良好

收稿日期:2017-12-11;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2018.01.001

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51504262)

作者简介:马力强(1963—),男,辽宁丹东人,教授,博士生导师,博士,主要从事选煤工艺、煤炭资源综合利用等方面研究工作。E-mail:mlqiang@sina.com

引用格式:马力强,孙先凤,黄根,等.煤泥调浆机理与设备发展历程及应用[J].洁净煤技术,2018,24(1):1-5.

MA Liqiang, SUN Xianfeng, HUANG Gen, et al. Mechanism of coal slime conditioning and equipment development history and industrial application[J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(1): 1-5.

的改善作用,包括硫化铜矿、金矿、氧化铀矿及黄铁矿等,经高剪切调浆后其浮选速度、金属回收率和精矿品位都明显提高^[6-7]。在煤泥浮选领域,许多学者研究表明,浮选前充分调浆可明显促进煤泥矿化效果,提高浮选回收率,改善煤泥浮选效果;此外,高剪切调浆还较明显地降低了浮选药耗^[8-13]。近年来,国内在调浆理论方面取得了一些进展,开发了部分设备,但还缺乏全面、系统的总结,高效调浆设备的开发和推广还有待加强。因此,本文概括了煤泥调浆的主要机理、实验室及工业应用效果,以及我国煤泥调浆设备的发展历程,以期能引起现场及广大科研人员对煤泥调浆环节的重视。

1 煤泥调浆机理

煤泥调浆过程实质上是捕收剂被强烈机械搅拌分散成细小油滴后,与在同样搅拌状态下呈悬浮状态的煤泥颗粒发生碰撞、吸附。同时高剪切液流对煤泥颗粒表面的擦洗,以及颗粒间的相互碰撞摩擦,会清除其表面黏附的高灰细泥,为后续捕收剂油滴碰撞吸附创造良好的界面条件,从而提高煤泥表面的疏水性,使后续浮选效果得到改善。具体来讲,煤泥调浆机理可分为以下4方面。

1) 高剪切调浆净化煤粒表面。煤泥颗粒表面附着有大量细泥颗粒,中、高灰细泥会降低煤粒表面的疏水性,使煤粒难以与捕收剂油滴或气泡发生黏附,煤粒因未改善表面疏水性而损失在尾煤中^[14-15]。研究表明,高剪切调浆可以擦除煤粒表面的细泥颗粒,使煤粒暴露出干净表面,显著增强了颗粒与捕收剂油滴间的黏附作用,明显改善煤表面疏水性,其中粗颗粒的改善效果尤其明显。调浆强度和调浆时间共同决定了表面清洗作用的强弱^[16-18]。

2) 高剪切调浆有效提高捕收剂的分散度。在一定矿浆体积内,良好的药剂分散可以提高单位体积矿浆中药剂油滴的数量。捕收剂油滴在矿浆中的有效分散是药剂与煤粒实现碰撞的前提条件。调浆时间和调浆强度是调浆过程中的2个重要参数,相对而言调浆强度的作用更大,即高强度短时间比低强度长时间能使药剂分散地更细^[19-20]。

3) 高剪切调浆提高捕收剂油滴与煤粒的碰撞概率。根据德国著名两相流学者 Sommerfeld 的颗粒碰撞理论模型^[21]可以推导出煤泥浮选矿浆体系中捕收剂油滴与煤泥颗粒之间的碰撞概率模型,该

模型表明:随着分散度的增大,油滴与煤泥颗粒的碰撞概率呈规律性增加。但在实际剪切流场中,2个理论上将发生碰撞的颗粒在受到范德华力、静电力以及湍流曳力等影响下可能发生绕流现象,因此,油滴与煤泥颗粒间的实际碰撞概率远小于理论计算值^[22]。捕收剂油滴与煤泥颗粒间的实际碰撞情况可能是:油滴颗粒较大时,因其具有较大的惯性,较易保持原有运动方向与煤泥颗粒发生碰撞;但对于粒度较小的油滴($<10\ \mu\text{m}$),由于油滴自身惯性小,与煤泥颗粒接近时易绕流难以碰撞^[20,23-24]。

4) 过度调浆增大捕收剂与煤粒的解吸概率。吸附在煤泥颗粒表面的捕收剂油滴可能因强烈的湍流冲刷而解吸。煤泥浮选大多采用非极性烃类油,如煤油和柴油,主要通过物理吸附作用在煤泥颗粒表面^[25]。物理吸附结合力较弱,在外力作用下容易发生解吸,剪切力越大,解吸概率越高^[26]。

因此,对于煤泥浮选矿浆体系,捕收剂与煤泥颗粒间的有效吸附受到颗粒理论碰撞概率、颗粒绕流概率、吸附后解吸概率,以及颗粒表面清洁程度的共同影响,调浆强度与上述各因素关系密切。采用有效吸附概率理论可以解释不同调浆条件下煤泥浮选效果的差异。提高调浆强度是确保浮选精煤回收率和质量的关键。但由于绕流和解吸概率的影响,过度调浆不利于提高精煤产率。

2 煤泥调浆设备发展历程

1) 建国后我国选煤工业受前苏联影响很大,很多选煤工艺和设备都源于前苏联。煤泥浮选工艺中,前苏联和我国都将矿浆预处理作为浮选工艺的重要环节,普遍采用的设备是搅拌桶,或称之为接触槽、调和槽^[27]。但由于缺乏对矿浆预处理环节深入的理论研究,以至于很长一段时期内,除了传统的搅拌桶外,相关设备开发较少。直到20世纪80年代前,我国各选煤厂浮选工艺矿浆预处理设备仍采用搅拌桶。搅拌桶结构简单,稳定性高,但搅拌强度低,矿物颗粒离底悬浮能力差,与药剂碰撞概率低,表面活化不充分,药剂无法充分分散和利用。

2) 20世纪80年代后矿浆预处理器、矿浆准备器成为主要调浆设备。20世纪80年代,平顶山选煤设计研究院根据前苏联技术开发了XK系列矿浆准备器,由煤炭科学院唐山分院和淮南望峰岗选煤厂共同研制开发了XY系列浮选矿浆预处理器。同搅拌桶相比,这2种设备的调浆效果明显提高。XY

型矿浆预处理器工作原理:该设备为上部圆筒形、下部圆锥形结构,内部配置有上、下2层组合而成的叶轮-定子混合器,药剂直接给入混合器中;当叶轮旋转时,药剂被高速旋转叶轮迅速分散为小液滴,并与吸入的煤浆充分混合^[28]。与搅拌桶相比,该设备具有运转平稳、操作方便、调浆效果可靠、节省药剂等特点。XK系列矿浆准备器为上部圆筒形结构,内部设置有与电机相连的起雾盘。浮选药剂加到起雾盘上,起雾盘高速旋转时,药剂在盘面上由内向外迅速铺展,被圆盘边缘的锯齿状结构切割、分散成小雾滴,并与自上而下流过的矿浆混合^[29]。该设备具有运动部件少,结构简单,能耗低的优点。但由于矿浆只是通过流动过程与药剂混合,其调浆效果比矿浆预处理器略差。

3)近年来煤泥预处理环节受到重视,多种新设备投入应用。进入21世纪后,随着浮选调浆理论研究的不断深入,加之煤质越来越差,煤泥预处理环节逐渐受到重视,先后开发了一批矿浆预处理设备,并取得了较好效果。但由于应用时间较短,新设备结构参数还需优化,具体适用条件有待进一步考察。

2001年,由日本三井造船株式会社开发的表面改质机被引进中国,浮选前煤粒表面改质的概念被应用于我国浮选生产实践中。该设备外形为圆筒状卧式布置,机内以隔板区分为多段搅拌室,每个搅拌室内有一个涡轮型搅拌翼,在前方两段隔板中设置了放射状的汇流板,搅拌翼圆盘的两侧各有4块放射状的汇流板,其参数可根据煤质情况、矿浆浓度和流量调整^[30]。工作特点为:浮选药剂与矿浆一起给入表面改质机后,短时间内经高速剪切被迅速分散;同时,黏附在煤粒表面的高灰细泥被强制剥离,煤粒暴露出新的表面,从而改善了煤粒的疏水性^[31]。该设备主要缺点为耗电量巨大,如应用于贵州金佳选煤厂煤泥处理能力22.4 t/h的表面改质机电机功率高达200 kW,相当于8.9 kW/t煤泥,所以该种表面改质机已基本没有在生产中应用。

2006年,中国煤炭科工集团唐山研究院有限公司开发了与XJM-KS系列浮选机配套的矿浆预处理装置——射流式预矿化器^[32]。射流式预矿化器主要特点为采用文丘里射流结构使空气、药剂随高速煤浆一同进入喉管,在强湍流下煤与空气和雾化药剂三者充分混合实现矿化过程。

2007年,北京国华科技有限公司、唐山森普矿山装备有限公司共同研发了PS系列煤浆预处理

器。管道混合器是一种无运动部件装置,由一组按一定规则排列的流体混合单元和筒体组成^[33]。乳化石剂及煤浆经多组交替排列的流体混合单元不断改变流向,多次分割、碰撞,混合作用较好。

2011年,北京国华科技有限公司、淮北矿业股份有限公司临涣选煤厂、安徽理工大学共同研发了雾化跌落式煤浆预处理器。箱体两侧各设有带坎条的上、下滑板。煤浆与雾化分散后的浮选药剂接触后,在上、下滑板表面流动时,由于坎条的阻拦,不断跃起和跌落,煤浆与浮选药剂得到混合^[34]。

2011年中国矿业大学(北京)针对难浮煤泥研发了BGT系列新型表面改质调浆机^[35]。表面改质调浆机采用立式布置,主体包括由搅拌叶轮、剪切盘组成的三室五级调浆结构。煤浆和浮选药剂自下部给入桶体,由下至上逐级进入各室,在各级搅拌叶轮和剪切盘的高速剪切作用下,煤颗粒表面擦洗充分,并与药剂高效率碰撞,实现了煤浆的表面改质调浆。该设备具有剪切力强,药剂分散效果优异,颗粒表面擦洗充分等优势。其搅拌叶轮和剪切盘转速可根据煤质情况调整,以达到最佳调浆效果。

3 实验室调浆试验及工业应用效果分析

3.1 实验室调浆试验

实验室调浆试验采用的是自制五级转速搅拌器,搅拌器容量1 L,用叶轮线速度作为剪切强度指标,搅拌叶轮形式为斜叶开启涡轮式。试验煤样选用开滦集团钱家营选煤厂煤泥,对煤泥分别进行1.63、2.28、4.14、5.90、8.23 m/s等5级叶轮线速度调浆搅拌,通过浮选试验可燃体回收率的变化间接考察调浆效果。调浆时间均为2 min,浮选试验选用柴油、仲辛醇分别作为捕收剂和起泡剂,捕收剂用量为500 g/t,起泡剂用量为50 g/t。叶轮线速度对可燃体回收率的影响^[19]如图1所示。

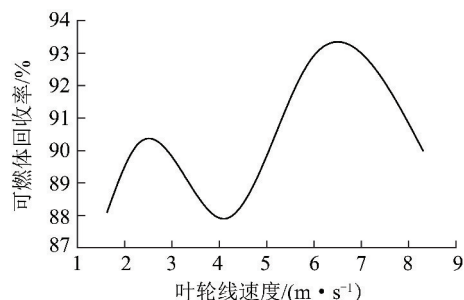


图1 叶轮线速度对可燃体回收率的影响

Fig. 1 Effect of stirring impeller speed on the combustibles recovery

由图1可知,叶轮线速度由1.63 m/s逐步提高到8.23 m/s时,精煤可燃体回收率不断起伏变化。其变化机理是随着剪切强度的提高,颗粒理论碰撞概率、颗粒绕流概率、颗粒表面清洁度以及解吸概率都随之发生变化,导致有效吸附概率变化,其结果间接反映在精煤可燃体回收率上。因此,调浆强度存在适宜范围。叶轮线速度为5.90 m/s时,可燃体回收率最大达92.73%;继续提高叶轮线速度,已吸附到煤泥颗粒上的捕收剂在过强剪切作用下容易发生解吸,可燃体回收率下降。因此,在本试验范围内,适宜的调浆强度为叶轮线速度6 m/s左右。需要强调的是,不同煤质需不同的调浆强度与其相适应;但

煤质变化不大时,不需要频繁调节调浆强度。

3.2 工业调浆试验

2012年,在实验室研究基础上开发的BGT表面改质调浆机应用于开滦集团钱家营选煤厂,并与同时应用于现场的矿浆预处理器进行了生产效果对比,结果见表1(入料灰分25.90%)。

由表1可知,经BGT表面改质调浆机调浆后,在精煤灰分相当的情况下,最终精煤产率提高了27.42%,浮选效果大幅改善。工业应用表明,高剪切调浆对后续浮选效果有显著影响。对于高灰难浮煤泥,在其他手段收效甚微时,加强调浆环节或许可以达到事半功倍的效果。

表1 工业调浆试验

Table 1 Industrial conditioning tests

设备	药剂用量/(mL·min ⁻¹)		粗选/%		精选/%		最终尾煤灰分/%	最终精煤产率/%
	捕收剂	起泡剂	精煤灰分	尾煤灰分	精煤灰分	尾煤灰分		
表面改质调浆机	510	76	11.98	42.86	10.91	50.49	43.10	53.44
矿浆预处理器	700	70	11.37	37.00	10.58	35.52	36.97	41.94

4 结 论

1) 受到颗粒理论碰撞概率、颗粒绕流概率、吸附后解吸概率以及颗粒表面清洁程度的影响,适度提高调浆强度是提高煤泥颗粒与捕收剂有效吸附概率,确保浮选精煤回收率和质量的关键因素。

2) 对于特定煤泥存在一最佳调浆强度使得精煤可燃体回收率达到最大。对于钱家营选煤厂煤泥来说,在实验室条件下,调浆机叶轮线速度为6 m/s时,可获得本试验范围内最大的可燃体回收率;工业试验中,在精煤灰分相当时,对比矿浆预处理器,高效调浆机可提高精煤产率27.42%。

3) 调浆设备的从无到有,从简单的分散搅拌到复杂的多因素调浆机理,使调浆工艺理论和设备日趋完善,但仍存在一些问题。今后调浆理论研究应围绕现有调浆机理,特别在最佳调浆强度与煤泥煤质特性相互关系方面进行更深入、细致和全面分析,开发更加高效、智能和大型化的调浆设备。

参考文献 (References):

[1] 马力强,陈清如. 煤泥调浆技术与设备的研究现状及进展[J]. 煤炭科学技术,2011,39(4):11-16.
MA Liqiang, CHEN Qingru. Study status and progress on slime water slurry blending technology and equipment[J]. Coal Science and

Technology,2011,39(4):11-16.

[2] CHEN G,GRANO S,SOBIERAJ S,et al. The effect of high intensity conditioning on the flotation of a nickel ore. Part 1:Size-by-size analysis [J]. Minerals Engineering,1999,12(10):1185-1200.
[3] CHEN G,GRANO S,SOBIERAJ S,et al. The effect of high intensity conditioning on the flotation of a nickel ore,part 2:Mechanisms [J]. Minerals Engineering,1999,12(11):1359-1373.
[4] ENGEL M D,MIDDLEBROOK P D,JAMESON G J. Advances in the study of high intensity conditioning as a means of improving mineral flotation performance [J]. Minerals Engineering,1997,10(1):55-68.
[5] FENG Bo,FENG Qiming,LU Yiping,et al. The effect of conditioning methods and chain length of xanthate on the flotation of a nickel ore[J]. Minerals Engineering,2012,39(39):48-50.
[6] TABOSA Erico,RUBIO Jorge. Flotation of copper sulphides assisted by high intensity conditioning (HIC) and concentrate recirculation[J]. Minerals Engineering,2010,23(15):1198-1206.
[7] STASSEN F J N. Conditioning in the flotation of gold,uranium oxide, and pyrite[J]. Journal of the South African Institute of Mining & Metallurgy,1991,91(5):169-174.
[8] MA Liqiang,WEI Lubin,JIANG Xinghua,et al. Effects of shearing strength in slurry conditioning on coal slime flotation[J]. Journal of China Coal Society,2013,38(1):140-144.
[9] HUANG Gen,XU Hongxiang,MA Liqiang,et al. Improving coal flotation by classified conditioning[J/OL]. International Journal of Coal Preparation & Utilization,2017:1-13 [2017-12-11]. ht-

- tps://doi.org/10.1080/19392699.2016.1267639.
- [10] HUANG Gen, LIU Jiongtian, WANG Lijun, et al. Flow field simulation of agitating tank and fine coal conditioning[J]. International Journal of Mineral Processing, 2016, 148: 116-123.
- [11] LI Jihui, MA Liqiang, LI Yanzhao, et al. The flotation process with high intensity conditioning and cleaning for fine coal[J]. Advanced Materials Research, 2014, 1010/1011/1012: 1636-1639.
- [12] GUI Xiahui, WANG Yongtian, ZHANG Haijun, et al. Effect of two-stage stirred pulp-mixing on coal flotation[J]. Fyzykochemiczne Problemy Mineralurgii-Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2014, 50(1): 299-310.
- [13] SUN Yawei, ZHOU Anning, ZHEN Li. The progress and review of fine coal pulp-mixing technology[C]//XVIII International Coal Preparation Congress. Cham: Springer, 2016: 371-375.
- [14] 桂夏辉, 程敢, 刘炯天, 等. 异质细泥在煤泥浮选中的过程特征[J]. 煤炭学报, 2012, 37(2): 301-309.
- GUI Xiahui, CHENG Gan, LIU Jiongtian, et al. Process characteristics of heterogeneous fine slime in slime flotation[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(2): 301-309.
- [15] 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. Fine slime entrapment and covering mechanism in slime flotation process[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(3): 652-658.
- [16] YU Yuexian, MA Liqiang, CAO Mingli, et al. Slime coatings in froth flotation: A review[J]. Minerals Engineering, 2017, 114: 26-36.
- [17] YU Yuexian, MA Liqiang, WU Lun, et al. The role of surface cleaning in high intensity conditioning[J]. Powder Technology, 2017, 319: 26-33.
- [18] 李振, 刘炯天, 闫小康, 等. 浮选过程中搅拌调浆特性研究[J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(1): 133-139.
- LI Zhen, LIU Jiong Tian, YAN Xiaokang, et al. Research on the characteristics of stirred pulp-mixing in the flotation process[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2011, 40(1): 133-139.
- [19] 马力强, 韦鲁滨, 李吉辉, 等. 煤泥高效调浆理论研究与应
用[J]. 中国矿业大学学报, 2012, 41(2): 315-319.
- MA Liqiang, WEI Lubin, LI Jihui, et al. Study of theory of efficient coal slurry conditioning and its application[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2012, 41(2): 315-319.
- [20] 李振, 刘炯天, 曹亦俊. 浮选过程搅拌调浆技术评述[J]. 金属矿山, 2009(10): 5-11.
- LI Zhen, LIU Jiongtian, CAO Yijun. Review on the technology of mixing and slurring in flotation process[J]. Metal Mine, 2009(10): 5-11.
- [21] SOMMERFELD M, ZIVKOVIC G. Recent advances in the numerical simulation of pneumatic conveying through pipe systems [M]. London: Elsevier Science Publishers, 1992: 201-212.
- [22] 马力强, 韦鲁滨, 江兴华, 等. 调浆剪切强度对煤泥浮选的影响[J]. 煤炭学报, 2013, 38(1): 140-144.
- MA Liqiang, WEI Lubin, JIANG Xinghua, et al. Effects of shearing strength in slurry conditioning on coal slime flotation[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(1): 140-144.
- [23] 郭梦熊. 浮选[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989: 62-63.
- [24] 李振, 刘炯天, 曹亦俊. 搅拌调浆机制的固-液悬浮特性[J]. 煤炭学报, 2011, 36(3): 502-506.
- LI Zhen, LIU Jiongtian, CAO Yijun. Review on the technology of mixing and slurring in flotation process[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(3): 502-506.
- [25] 张景来, 王启宝. 煤的界面化学及应用[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2001: 11-20.
- [26] 肖衍繁, 李文斌. 矿山机械1978年总目录[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004: 342-343.
- [27] 中南矿业学院选矿教研组, 东北工学院选矿教研组. 浮选[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1960: 278-279.
- [28] 杨玉华, 曾付洋, 石郡, 等. 对XY型矿浆预处理器工作情况简要分析[J]. 煤质技术, 2008(4): 60-61.
- YANG Yuhua, ZENG Fuyang, SHI Jun, et al. A brief analysis of working conditions of XY type slurry pretreatment[J]. Coal Quality Technology, 2008(4): 60-61.
- [29] 张立华, 周国亮, 朱金波. 煤浆预处理器的综合评述[J]. 选煤技术, 2011(5): 65-70.
- [30] 谢国龙, 雷同, 郭小慧, 等. M-COL2100型表面改质机在司马煤业有限公司选煤厂的应用[J]. 选煤技术, 2008(5): 39-40.
- [31] 林宜炎, 王自立. 应用日本M-COL系统提高浮选效果[J]. 煤炭科学技术, 2002, 30(10): 30-31, 49.
- LIN Yiyang, WANG Zili. Application of Japan M-COL system to improve floatation result[J]. Coal Science and Technology, 2002, 30(10): 30-31, 49.
- [32] 魏昌杰, 宋云霞. XJM-KS系列浮选机矿化器的研究与应用[J]. 选煤技术, 2015(1): 27-31.
- WEI Changjie, SONG Yunxia. Study and application of mineralizing device used on XJM-KS series flotation machine[J]. Coal Preparation Technology, 2015(1): 27-31.
- [33] 赵树彦, 王微微, 于一栋, 等. PS系列煤浆预处理器[J]. 煤质技术, 2008(3): 53-57.
- ZHAO Shuyan, WANG Weiwei, YU Yidong, et al. PS series coal slurry preprocessor[J]. Coal Quality Technology, 2008(3): 53-57.
- [34] 丛建. 雾化-跌落式煤浆预处理器应用研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2012.
- [35] 李吉辉, 马力强, 成功, 等. 煤泥浮选调浆技术与设备研究进展[J]. 煤炭工程, 2014, 46(9): 109-111.
- LI Jihui, MA Liqiang, CHENG Gong, et al. Research progress in coal slime flotation and slurry technology and equipment[J]. Coal Engineering, 2014, 46(9): 109-111.