

三峰分形级配水煤浆提浓技术研究

周永涛

(中煤陕西榆林能源化工有限公司, 陕西 榆林 719000)

摘要:为提高煤炭气化转化效率,论述了三峰分形级配制浆技术原理和技术特点,通过实验室研究,对单磨机制浆工艺和三峰分形级配制浆工艺进行对比,分析不同工艺下制取的水煤浆成浆性能;在中煤陕西榆林能源化工有限公司原有单磨机制浆单元基础上采用三峰分形级配提浓技术进行工业示范,通过分析项目可行性、技术方案等,对比投产前后的运行效果。实验室研究表明,在单棒磨机制浆工艺条件下,添加0.18%的ZM型添加剂时,水煤浆浓度仅为61.4%,水煤浆粒度级配不合理、流动性和稳定性差。而在三峰级配工艺最佳配比85:10:5条件下,水煤浆浓度能提高至65.5%,与单棒磨机制浆工艺相比,浓度提高4.1%,且水煤浆流动性和稳定性显著改善。工业运行结果表明,相同条件下,水煤浆槽水煤浆浓度由改造前的61.7%提高至目前的65.5%, $1\ 000\ \text{Nm}^3\ \text{CO}+\text{H}_2$ 比煤耗降低了40.76 kg; $1\ 000\ \text{Nm}^3\ \text{CO}+\text{H}_2$ 比氧耗降低了33.44 Nm^3 ,有效合成气含量提高1.48%。采用三峰分形级配提浓技术后,气化水煤浆的煤浆质量及气化效率有显著改善。

关键词:水煤浆浓度;三峰分形级配;煤气化效率;水煤浆质量

中图分类号:TQ536 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2018)01-0063-06

Three peak fractal grading coal water slurry concentration technology

ZHOU Yongtao

(China Coal Shaanxi Yulin Energy and Chemical Co., Ltd., Yulin 719000, China)

Abstract: For improving conversion efficiency of coal gasification, principle and characteristics of three peak fractal grading pulping technology were discussed. Single grinder slurry process and three peak fractal grading pulping process were contrasted, which slurryability were analysed through the laboratory research. Based on single grinder slurry unit, industrial demonstration of three peak fractal grading coal water slurry concentration technology was carried out in China Coal Shaanxi Yulin Energy and Chemical Co., Ltd. Through analysing project feasibility and project technical scheme, operation effect was contrasted before and after operation. The results show that coal water slurry concentration is only 61.4% with unreasonable grain size distribution and bad fluidity and stability in condition of single grinder and 0.18% ZM additive. In three peak grading process, when the best three peak particle size ratio is 85:10:5, coal water slurry concentration can increase to 65.5% which increases by 4.1% than single grinder slurry. At the same time, liquidity and stability of coal water slurry are improved significantly. Industrial operation results show that in the same conditions, coal water slurry tank slurry concentration becomes from 61.7% to 65.5%. Coal and oxygen consumption of $1\ 000\ \text{Nm}^3\ \text{CO}+\text{H}_2$ are reduced by 40.76 kg and 33.44 Nm^3 , and synthesis gas content is increased by 1.48%. Quality and gasification efficiency of gasified coal water slurry have been significantly improved with three peak fractal grading technology.

Key words: coal water slurry concentration; three peak fractal grading; coal gasification efficiency; coal water slurry quality

0 引言

水煤浆是由一定粒度级配的煤、水和添加剂按

一定比例组成的煤基流体燃料和气化原料,可用于工业锅炉、窑炉和电站锅炉的燃烧发电或供气,亦可用于煤气化生产合成氨、甲醇、烯烃、油品和天然气

收稿日期:2017-12-12;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2018.01.011

作者简介:周永涛(1972—),男,黑龙江哈尔滨人,高级工程师,从事化工管理工作。E-mail:zhouyt@chinacoalsx.com

引用格式:周永涛.三峰分形级配水煤浆提浓技术研究[J].洁净煤技术,2018,24(1):63-68,73.

ZHOU Yongtao. Three peak fractal grading coal water slurry concentration technology[J]. Clean Coal Technology, 2018, 24(1): 63-68, 73.

等化工产品^[1]。目前,大部分煤化工企业均采用以低阶煤为主的制浆原料,但由于低阶煤成浆性较差,制备的水煤浆浓度较低,直接影响煤炭气化转化效率、气化能耗以及生产成本等。于海龙等^[2]通过模拟计算水煤浆浓度对气化效率的影响,认为提高水煤浆浓度可提高气化系统效率。因此如何提高低阶煤的成浆浓度逐渐引起国内企业的重视^[3]。

影响水煤浆质量的3个主要因素有原料煤煤质、水煤浆制备工艺及水煤浆添加剂^[4-5]。随着适用于水煤浆加压气化的优质原料煤储量逐渐减少以及煤炭质量和价格的变化,制浆煤源逐渐向煤炭质量和成浆浓度更差的低变质程度煤种过渡^[6],因此,采用水煤浆提浓技术不仅是现用煤种节能降耗的迫切需求,也是扩大原料选择范围的必然选择。煤质对成浆的影响主要有煤的变质程度、表面孔隙特性、煤岩显微组分、内水、O/C比、煤种可溶性高价金属离子和可磨性等^[7]。低阶煤具有变质程度较低,内在水较高等特点,采用单棒磨机制浆工艺存在粒度级配不合理、成浆浓度低、煤种选择范围窄的问题,导致水煤浆在气化过程中煤耗和氧耗偏高、有效气含量和总有效气含量偏低,限制了后续系统生产规模,增加了企业生产成本^[8]。何国锋、段清兵等^[4-5]对水煤浆制浆工艺和添加剂进行大量应用研究,认为在煤质和添加剂固定的情况下,水煤浆制备工艺对于提高水煤浆浓度、降低水煤浆生产成本起着至关重要的作用,完善的制浆工艺中水煤浆粒度级配是影响水煤浆浓度、黏度和流变性的关键因素^[4-5]。杜小茹等^[9]通过研究难成浆煤种,发现难成浆煤种必须采用先进的制浆工艺才能提高水煤浆浓度。目前,国内绝大多数煤化工企业的水煤浆制备系统大多采用单棒/球磨机制浆工艺。杨红军^[10]在制浆工艺研究中,发现单棒/球磨机制浆工艺流程简单,水煤浆粒度级配不合理,制备的水煤浆浓度普遍偏低,且水煤浆流态及稳定性也很差,不利于提高煤炭气化转化效率。

为促进高浓度水煤浆制备技术尽快实现工业化,以满足我国水煤浆加压气化大型煤化工生产需要,中煤科工清洁能源股份有限公司根据低阶煤煤质特点,开发了三峰分形级配制备高浓度水煤浆工艺技术,该技术可将水煤浆浓度提高3%~5%,改善水煤浆流动性和稳定性,提高后续气化效率。水煤浆提浓项目在其他企业的运行结果显示,水煤浆浓度每提高1%,1 000 m³(CO+H₂)所需煤耗降低

10.05 kg,氧耗降低9.02 m³,有效气含量增加0.54%,每年可为60万t/a甲醇企业带来至少1 500万元经济效益^[11]。鉴于此,中煤陕西榆林能源化工有限公司(以下简称中煤陕西公司)决定在原有单磨机制浆单元基础上采用三峰分形级配提浓技术^[12]进行工业示范,以期降低生产成本,扩大系统产能,增加企业效益。

1 三峰分形级配制浆技术

1.1 三峰分形级配制浆技术原理

高浓度水煤浆对于煤细度、水煤浆浓度及流动性有一定要求,水煤浆中粒度要求分布合理,大小颗粒能相互充填,减少空隙,使固体占有率(堆积效率)提高(图1)。提高堆积效率的技术称“级配”。掌握好水煤浆的粒度分布是制备水煤浆的关键^[13]。

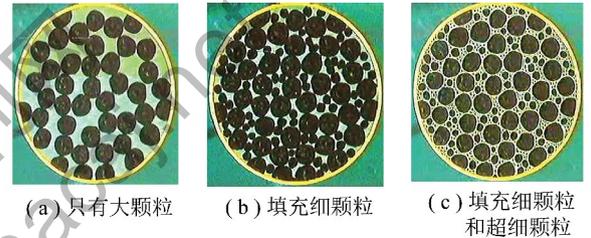


图1 水煤浆中颗粒填充示意

Fig. 1 Particle filling diagram of coal water slurry

三峰分形级配制浆是以“分形级配”理论为基础,增大颗粒间粒级差,使得下一级的颗粒能够有效填充上一级颗粒缝隙中,最终提高煤粉颗粒堆积效率。加入的超细粉具有明显表面物理化学特性,在其表面形成相较于自身直径较大的束缚水膜,束缚水包裹住的超细粉颗粒此时受到的浮力与自身重力相近,进而与水形成了类似于均质的稳定浆液。粗颗粒与细颗粒加入均质浆液中,表面被均质细浆充分润湿包裹,而细粉又能填充进粗颗粒缝隙间,最终形成了三峰分形级配高浓度水煤浆^[14-15]。

1.2 三峰分形级配制浆技术特点

1) 三峰分形级配技术将原料水煤浆研磨成合格的细浆和超细浆加入原有水煤浆制备系统,形成连续三级粒度级配,可有效提高水煤浆堆积效率,进而提高水煤浆浓度3%~5%,还可大幅改善气化水煤浆流动性和稳定性。

2) 三峰分形级配制浆工艺中选用的新型整形研磨机(也称细磨机)具有粒度适应范围广、研磨效率高和能耗低的优点。经细磨机研磨后的细浆平均粒径达20~30 μm,再经超细磨机研磨后的超细浆

平均粒径为4~8 μm。

3)三峰分形级配提浓系统为原有制浆系统的“外挂式”子系统,是对现有制浆系统生产运行的优化提升,新增细浆制备系统的停运并不影响原有制浆系统正常运行。

2 试验

2.1 试验原料

为准确判断现场用煤成浆性情况,对中煤陕西公司进行现场煤样取样(简称榆林煤),并进行了煤质分析和实验室成浆性研究,煤质分析见表1。

表1 中煤榆林现场用煤煤质和灰熔融性分析

Table 1 Coal quality and ash fusibility analysis of Yulin coal

工业分析/%					$w(S_{1,ad})$ /哈氏可磨性	$Q_{net,ar}$ /	灰熔融性温度/°C				
M_{ar}	M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}	%	指数 HGI	(MJ·kg ⁻¹)	变形温度(DT)	软化温度(ST)	半球温度(HT)	流动温度(FT)
13.40	2.32	9.89	34.18	53.61	0.71	59	25.20	1 100	1 110	1 120	1 120

2.2.2 水煤浆特性评价方法

水煤浆流动性的检测方法有2种:①观察法,直观描述浆体的流动状态,受主观影响较大;②数值法,测量结果准确、易比对,直观性较差。所以试验中2种测量方法配合使用。

1)观察法,根据其流动特性,分为A、B、C、D四个等级。A:流动连续,平滑不间断;B:流动较连续,流体表面不光滑;C:借助外力才能流动;D:泥状不成浆,不能流动。为了表示属于某一等级范围流动性的较小差别,分别用“+”号和“-”号加以区分,“+”号表示某一等级中流动性较好者;“-”号表示某一等级中流动性较差者。

2)数值法,将水煤浆注满标准截锥圆模(上口径为36 mm,下口径为60 mm,高度为60 mm),提起截锥圆模,在流动30 s后测定水煤浆在玻璃平面上自由流淌的最大直径。用最大直径值来判断水煤浆

2.2 试验方法及水煤浆特性评价方法

2.2.1 试验方法

在实验室内模拟工业条件,对榆林煤进行单磨机工艺和三峰分形级配工艺条件下的成浆性试验。利用实验室棒磨机制取粗煤粉,利用立式搅拌磨制取细粉与超细粉。试验采用粗粉制浆模拟单磨机工艺下榆林煤成浆特性,采用粗粉、细粉以及超细粉模拟三峰分形级配工艺下榆林煤成浆特性,包括级配关系、添加剂性能等相关参数。最终通过工艺对比、添加剂对比以及添加剂最佳用量试验,探索出不同工艺下的最高成浆浓度以及较好的水煤浆性能。

的流动性。

采用插棒法进行水煤浆稳定性测试:将被测浆样密闭放置一定时间(气化水煤浆8 h)后,插棒观测根据以下标准判定:A级:浆体保持其初始状态,无析水和沉淀产生;B级:有少量析水或少许软沉淀产生;C级:有沉淀产生,密度分布不均,但经搅拌作用后可再生;D级:产生部分沉淀或全部硬沉淀。

3 试验结果与分析

3.1 单磨机制浆工艺

使用粗粉进行成浆性试验。选用ZM型添加剂(ZM和MK为2种不同添加剂,ZM是现场使用添加剂,MK是新型添加剂),在添加剂用量0.18%条件下,采用单磨机工艺将试验用煤分别制成一系列不同浓度的水煤浆,并对浆体的浓度、黏度、流变性和稳定性进行研究。试验结果见表2。

表2 榆林煤成浆性试验结果

Table 2 Slurryability of coal water slurry

水煤浆浓度/%	表观黏度/(mPa·s)	流态	流动性/cm	稳定性	粒度分布/%				
					<2.4 mm	<1.45 mm	<0.45 mm	<0.075 mm	<0.045 mm
60.5	498	B-	13	B-					
61.4	750	B-	12	B-	100	98.8	95.4	41.5	36.3
62.4	887	C	8	C					

由表2可知,在单磨机制浆工艺下,水煤浆浓度由60.5%提高至62.4%,水煤浆表观黏度升高,粒度偏粗。水煤浆浓度为62.4%时,流态为C,没有流动性,且稳定性较差,难以对水煤浆进行提浓。因此,ZM型添加剂用量为0.18%时,榆林煤的最高成浆浓度为61.4%。

3.2 三峰分形级配制浆工艺

三峰级配制浆是粗粉、细粉以及超细粉以不同比例进行级配制备水煤浆的过程。将粗粉与细粉、超细粉进行三峰级配试验,比例分别为90:5:5、85:10:5、85:5:10。ZM型添加剂用量0.18%时,采用三峰分形级配制浆工艺将试验用煤分别制成一系列不同浓度的水煤浆,并对浆体的浓度、黏度、流变性和稳定性进行研究,试验结果见表3。

表3 榆林煤三峰分形级配成浆性试验结果

Table 3 Slurryability of coal water slurry with three peak grading process

粗、细及超细粉配比/%	水煤浆浓度/%	表观黏度/(mPa·s)	流态	流动性/cm	稳定性	粒度分布/%				
						<2.4 mm	<1.45 mm	<0.45 mm	<0.075 mm	<0.045 mm
90:5:5	63.8	1 027	B-	13	B-	100	98.9	87.3	41.2	36.0
85:10:5	65.5	1 150	B	15	B+	100	99.0	87.4	42.5	37.3
85:5:10	65.4	1 138	B	15	B+	100	99.1	89.5	42.8	38.1

表4 不同添加剂成浆性试验结果

Table 4 Comparison of slurryability for different additives

工艺	配比	添加剂	水煤浆浓度/%	表观黏度/(mPa·s)	流态	流动性/cm	稳定性
单棒磨机	—	ZM	61.4	750	B-	12	B-
单棒磨机	—	MK	62.3	737	B-	13	B-
三峰级配	85:10:5	ZM	65.5	1 150	B	15	B+
三峰级配	85:10:5	MK	66.3	1 076	B	16	B+

由表4可知,MK型低阶煤专用添加剂针对性强、性价比高,在与现场添加剂同等用量情况下,单磨机工艺水煤浆浓度可提高0.9%,达到62.3%,三峰分形级配制浆工艺水煤浆浓度提高0.8%。

3.4 添加剂最佳用量

采用三峰分形级配制浆工艺(粗粉、细粉、超细粉配比85:10:5),选用MK型添加剂,在不同添加剂用量条件下,分别进行成浆性试验,分析浆体的浓度、黏度、流变性和稳定性,确定MK型添加剂最佳用量,结果见表5。

由表5可知,采用三峰分形级配制浆工艺,选用MK型添加剂时,随着添加剂用量的增加,水煤浆表观黏度降低,稳定性变好。添加剂用量为0.12%

由表3可知,三峰分形级配制浆工艺中,细粉和超细粉添加比例越高,水煤浆流态和稳定性越好,水煤浆粒度更细。超细粉添加比例达到10%后,水煤浆质量提高不明显。因此,三峰分形级配最佳配比为85:10:5,此时水煤浆浓度最高为65.5%,比单磨机制浆工艺提高4.1%,浆体流动性和稳定性显著改善。与单磨机试验相比,细浆的加入解决了水煤浆流动性和稳定性问题,说明细浆具有改善水煤浆质量的作用。

3.3 添加剂对比试验

采用单磨机制浆工艺和三峰分形级配制浆工艺分别对ZM、MK添加剂(用量0.18%)进行最高成浆浓度试验,对比不同添加剂的成浆效果,结果见表4。

表5 不同用量MK添加剂成浆性试验结果

Table 5 Slurryability of coal water slurry with different MK additives dosage

添加剂用量/%	水煤浆浓度/%	表观黏度/(mPa·s)	流态	流动性/cm	稳定性
0.12	65.3	1 341	B-	14	B
0.18	65.5	1 150	B	15	B+
0.24	65.6	1 012	B	16	B+

时,水煤浆表观黏度为1 341 mPa·s,不满足水煤浆生产使用要求;添加剂用量为0.24%时,水煤浆表观黏度、流动性及稳定性都较好,但与添加剂用量为0.18%相比,水煤浆质量相差不大,因此添加剂最佳

用量为0.18%。

4 工业示范结果

4.1 项目技术方案

中煤陕西公司原有水煤浆制备系统为单棒磨机制浆工艺(图2),即破碎后的煤、水、添加剂进入棒磨机进行磨矿,磨矿出料经过滚筒筛筛除大颗粒后即得成品水煤浆。该工艺由于水煤浆粒度级配不合理,存在水煤浆浓度偏低、水煤浆流态及稳定性差等问题。



图2 改造前制浆工艺流程

Fig. 2 Coal water slurry process before modification

改造后在原有系统上增加了水煤浆提浓系统(图3)。其中,棒磨机出口水煤浆槽的部分水煤浆经稀释后进入细磨机研磨,研磨合格的细浆分出部分再经超细磨机研磨,研磨合格的超细浆和剩余细浆一起输送至原有棒磨机中,从而形成三峰分形级配,优化气化水煤浆的粒度级配,提高水煤浆堆积效率,进而提高气化水煤浆浓度,同时改善水煤浆流动性及稳定性。

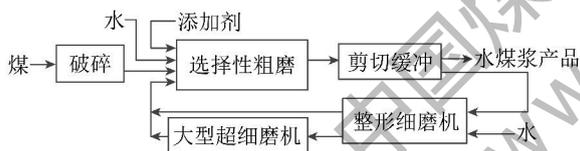


图3 水煤浆提浓系统工艺流程

Fig. 3 Process flow of coal water slurry concentration technology

根据工艺要求和水煤浆提浓系统设计规模,本项目配置4台细磨机CEXM630A型和2台CECXM1120A型超细磨机及其他附属罐、泵等设备。其中配浆泵布置于原有水煤浆制备车间低压水煤浆槽附近,2台CECXM1120A型超细磨机布置于其中1个棒磨机检修孔处,其余设备均布置于水煤浆制备车间煤仓下。

4.2 阶段运行结果

水煤浆气化是非常复杂的系统工程,提高气化效率需通过调节水煤浆浓度、水煤浆流量、氧气流量等参数来实现,单一改变某变量会对气化系统造成冲击,影响正常生产。为避免此类问题发生,在水煤浆提浓系统应用过程中,采取分阶段逐渐提浓的方式进行系统优化,该过程分为调试验收阶段和优化

提升阶段。

调试验收阶段时间为2017年8月1日—8月8日,水煤浆提浓系统通过性能考核,并达到预期目标。水煤浆提浓装置中4台CEXM630A型细磨机和2台CECXM1120A型超细磨机等相关设备全部为一次性、顺利开车成功,各项工艺和设备参数全部达到设计参数,所有设备安全、平稳运行。调试验收阶段水煤浆提浓系统性能考核前后的运行结果对比见表6。

表6 改造前后运行结果对比

Table 6 Comparison of operation results before and after transformation

项目	提浓前	提浓后	差值
水煤浆浓度/%	61.7	65.5	3.8
水煤浆黏度/(mPa·s)	398	668	270
水煤浆流态	B-	B	变好
水煤浆流动性/cm	12	14	2
水煤浆稳定性	B-	B	变好
<2.4 mm	100	100	—
<1.45 mm	99.75	99.55	—
水煤浆粒度分布/% <0.45 mm	93.64	89.15	—
<0.075 mm	39.31	42.90	—
<0.045 mm	32.15	35.66	—
有效合成气含量/%	79.67	81.15	1.48
比煤耗/(10 ⁻³ kg·Nm ⁻³)	578.89	538.13	-40.76
比氧耗/(10 ⁻³ Nm ³ ·Nm ⁻³)	397.18	363.74	-33.44
棒磨机电流/A	60~70	50~60	-10

由表6可知,增加水煤浆提浓系统后,设备运行平稳,水煤浆质量和气化效果显著改善,主要表现在以下几方面:

1) 对水煤浆质量的影响。相同条件下,水煤浆槽水煤浆浓度由改造前的61.7%提高至65.5%,提高了3.8%,水煤浆的流动性和稳定性显著改善,主要是由于原有水煤浆(平均粒径100~150 μm)中增加了细浆(平均粒径20~30 μm)和超细浆(平均粒径4~8 μm),细颗粒和超细颗粒水煤浆填充至粗颗粒水煤浆中,提高了水煤浆的堆积效率,增加了单位体积内水煤浆质量,进而提高了水煤浆浓度,改善了水煤浆的流变性和稳定性,由于加入细浆和超细浆后,增大了水煤浆的比表面积,故水煤浆的黏度有所增加。

2)对气化系统的影响。提浓改造后,比煤耗和比氧耗有明显降低,1 000 Nm³CO+H₂比煤耗由578.89 kg降至538.13 kg;1 000 Nm³CO+H₂比氧耗由397.18 Nm³降低至363.74 Nm³;有效合成气含量由79.67%提高至81.15%。改造后由于进气化炉水煤浆浓度的提高,减少了进气化炉的水分,进而减少了气化炉所需热量,因此为了维持原有气化炉的操作温度,就必须使水煤浆中部分C由原来的完全燃烧生成CO₂变成不完全燃烧生成CO,从而提高了有效合成气含量^[16-17],进而降低比煤耗和比氧耗,提高有效合成气含量。

3)对水煤浆制备系统设备的影响。水煤浆浓度提高后,棒磨机运行电流明显下降,由改造前的60~70 A降至50~60 A,原有制浆系统小时耗电减少约1 230 kWh,原有棒磨机筒体漏浆现象和滚筒筛跑浆现象明显减少,降低了现场工人工作量,美化了现场环境。

优化提升阶段是通过进一步优化水煤浆质量、调节相关气化参数实现提高气化效率的目的。结果表明,优化提升阶段,比煤耗和比氧耗较调试验收阶段有所下降,气化效率进一步提高。因此,水煤浆提浓系统可优化水煤浆质量,调节气化操作参数,大幅提高水煤浆气化效率。

5 结 论

1)榆林煤煤质分析结果显示,中煤陕西公司现场用煤内水含量高,可磨性差,属于难成浆煤种。在单棒磨机制浆工艺条件下,添加0.18% ZM型添加剂时,水煤浆浓度仅为61.4%,水煤浆粒度级配不合理、流动性和稳定性差。在三峰分形级配工艺中,粗粉、细粉、超细粉最佳配比85:10:5条件下,水煤浆浓度提高至65.5%,与单棒磨机制浆工艺相比,水煤浆浓度提高4.1%,且水煤浆流动性和稳定性显著改善。

2)水煤浆提浓装置为原有制浆系统的“外挂式”子系统,是对现有制浆系统生产运行的优化提升,新增水煤浆提浓系统的停运并不影响原有制浆系统的正常运行。经核算,水煤浆提浓装置可布置于现有水煤浆制备车间内,具有物料输送方便、土建投资低、管理方便、运行成本低的特点,且现有公用工程完全能满足改造要求。

3)水煤浆提浓系统调试验收阶段,水煤浆浓度由61.7%提高至65.5%;比煤耗由578.89 kg降至

538.13 kg;比氧耗由397.18 Nm³降至363.74 Nm³;有效合成气含量由79.67%提高至81.15%。优化提升阶段,比煤耗和比氧耗较调试验收阶段又有所下降,气化效率进一步提高。

参考文献(References):

- [1] 何国锋,詹隆,王燕芳.水煤浆技术发展与应用[M].北京:化学工业出版社,2012.
- [2] 于海龙,赵翔,周志军,等.煤浆浓度对水煤浆气化影响的数值模拟[J].中国动力工程学报,2005,25(2):217-220.
YU Hailong,ZHAO Xiang,ZHOU Zhijun, et al. Numerical simulation of the effect of coal-water-slurry's concentration on its gasification process[J]. Chinese Journal of Power Engineering, 2005, 25(2):217-220.
- [3] 崔意华.压力、煤浆浓度、氧煤比对水煤浆气化的影响[J].化肥设计,2010,48(5):23-26.
CUI Yihua. Influence of pressure, coal slurry concentration and ratio of oxygen/coal on water coal slurry gasification[J]. Chemical Fertilizer Design, 2010, 48(5):23-26.
- [4] 段清兵.分级研磨低阶煤高浓度水煤浆制备技术与应用[J].煤炭科学技术,2012,40(10):113-115.
DUAN Qingbing. Application of high concentration coal water slurry preparation technology with graded grinding low rank coal[J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(10):113-115.
- [5] 段清兵,何国锋,王国房,等.低阶煤制备高浓度气化水煤浆新技术[J].煤质技术,2009(5):41-43.
DUAN Qingbing, HE Guofeng, WANG Guofang, et al. The new technology of high-concentration gasifying CWM from low rank coal[J]. Coal Quality Technology, 2009(5):41-43.
- [6] 李寒旭,陈芳林.提高低变质程度煤成浆性能的研究[J].煤炭科学技术,2002,30(4):1-5.
LI Hanxu, CHEN Fanglin. Research to improve slurry performance of low metamorphic coal[J]. Coal Science and Technology, 2002, 30(4):1-5.
- [7] 吴国光,李建亮,孟献梁,等.煤岩组分与水煤浆成浆性能的关系研究[J].中国矿业大学学报,2009,38(3):35-38.
WU Guoguang, LI Jianliang, MENG Xianliang, et al. Research on the relationship between slurryability and petrological composition of coal[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2009, 38(3):35-38.
- [8] 张雪艳,仇汝臣.水煤浆制备系统提浓改造[J].小氮肥,2014,42(2):15-16.
- [9] 杜小茹,李光美,黄欣,等.水煤浆技术以及难制浆煤种成浆性的提高途径[J].煤炭技术,2010,29(1):176-178.
DU Xiaoru, LI Guangmei, HUANG Xin, et al. Way of water-coal-slurry technology and slurry ability of coal difficult to make slurry[J]. Coal Technology, 2010, 29(1):176-178.
- [10] 杨军红.低阶煤分级研磨制浆工艺技术在我厂的应用[J].中氮肥,2013(1):11-13.

(下转第73页)

- 机械工程学报,2013,49(2):139-145.
- YANG Yousheng, ZHENG Jianping, NIE Songlin, et al. Energy loss of nozzles in water jet system[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(2):139-145.
- [12] 陈建中, 马晓东, 沈丽娟. 机械搅拌式与喷射式浮选机工艺效果比较[J]. 矿山机械, 2014, 42(7):103-105.
- CHEN Jianzhong, MA Xiaodong, SHEN Lijuan. Contrast of mechanical agitation flotator and jet flotator in technological effects[J]. Mining & Processing Equipment, 2014, 42(7):103-105.
- [13] 李仁年, 唐堃, 韩伟, 等. 气液固三相流在机械搅拌充气式浮选机内运动的数值模拟[J]. 兰州理工大学学报, 2009, 35(1):37-40.
- LI Rennian, TANG Kun, HAN Wei, et al. Numerical simulation of gas-liquid-solid three-phase inner flow in mechanically stirring air-charging floatation machine[J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2009, 35(1):37-40.
- [14] 江明东, 王微微, 闫锐敏, 等. 喷射式浮选机浸没式充气搅拌装置结构参数的试验[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(1):18-21.
- JIANG Mingdong, WANG Weiwei, YAN Ruimin, et al. Study on structure parameters of submerged aeration mixing device in a jet-type floatation machine[J]. Clean Coal Technology, 2011, 17(1):18-21.
- [15] TAŞDEMİR T, ÖTEYAKA B, TAŞDEMİR A. Air entrainment rate and holdup in the Jameson cell[J]. Minerals Engineering, 2007, 20(8):761-765.
- [16] 田野, 杨润全, 王怀法. 不同结构空化气泡发生器的试验研究[J]. 煤炭技术, 2014, 33(6):216-218.
- TIAN Ye, YANG Runquan, WANG Huaifa. Experimental study of different structure cavitation bubble generator[J]. Coal Technology, 2014, 33(6):216-218.
- [17] UÇURUM M. Influences of Jameson flotation operation variables on the kinetics and recovery of unburned carbon[J]. Powder Technology, 2009, 191(3):240-246.
- [18] KARAGÜZEL Cengiz, ÇOBANOĞLU Gülşah. Stage-wise flotation for the removal of colored minerals from feldspathic slimes using laboratory scale Jameson cell[J]. Separation and Purification Technology, 2010, 74(1):100-107.
- [19] 王超, 朱金波, 胡标. 环空淹没射流吸气性能与能量耗散特征研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(8):14-21.
- WANG Chao, ZHU Jinbo, Hu Biao. Suction performance and energy dissipation characteristics of annular submerged jets[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(8):14-21
- [20] 费之奎. 基于喷射流驱动的混合流场浮选系统: CN201610057037.7[P]. 2016-05-11.
- [21] 朱金波. 基于矿浆管道压力驱动的多叶轮混合流场矿浆预处理器: CN201610055568.2[P]. 2016-05-04.
- [22] 朱金波. 一种具备高压射流搅拌功能的矿浆自驱动式浮选装置: CN201710446150.9[P]. 2017-09-29.
- [23] 朱金波. 具备矿浆自驱动及自吸气功能的浮选设备: CN201710446149.6[P]. 2017-09-15.
- [24] 王超. 一种自带整流装置的反击式环空喷射吸气搅拌式浮选机: CN201610161571.2[P]. 2016-06-08.
- [25] 周伟. 一种利用矿浆驱动的旋转射流搅拌低能耗浮选设备: CN201610272332.4[P]. 2016-07-20.
- [26] 郭德, 张秀梅, 石常省, 等. 压强预处理对煤泥浮选效果的影响[J]. 煤炭学报, 2011, 36(8):1365-1369.
- GUO De, ZHANG Xiumei, SHI Changsheng, et al. The effect of pressure-based pre-treat on the flotation efficiency of coal slurry[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(8):1365-1369.
- (上接第68页)
- [11] 张胜局, 何国锋, 段清兵. 水煤浆提浓技术在新能源有限公司的应用[J]. 洁净煤技术, 2015, 21(4):12-14.
- ZHANG Shengju, HE Guofeng, DUAN Qingbing. Application of coal water slurry mass fraction improvement technology in Xinneng Energy Company[J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(4):12-14.
- [12] 何国锋, 段清兵, 吕向阳, 等. 一种制备气化水煤浆的方法: 201510408754.5[P]. 2015-07-13.
- [13] 王俊哲, 王淦岗, 方刚, 等. 基于 Alfred 模型提高神府煤水煤浆成浆性[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(12):117-119.
- WANG Junzhe, WANG Yugang, FANG Gang, et al. Study on improvement coal water slurry ability of Shenfu coal based on Alfred model[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(12):117-119.
- [14] 官长平, 吴翠平, 高志芳, 等. 低变质程度煤配煤制浆的试验研究[J]. 选煤技术, 2009(2):6-8.
- [15] 尉迟唯, 李宝庆, 李文, 等. 混合煤制浆对水煤浆性质的影响[J]. 燃料化学学报, 2004, 32(1):31-36.
- YU Chiwei, LI Baoqing, LI Wen, et al. Effect of blending various coals on the properties of coal water slurry[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2004, 32(1):31-36.
- [16] 谢冰, 张勇. 德士古水煤浆加压气化的几个重要影响因素[J]. 内蒙古石油化工, 2014(5):55-56.
- [17] 王鼎, 李辉, 刘丽娜, 等. 提高水煤浆气化有效气成分的途径[J]. 大氮肥, 2013, 36(1):15-17.
- WANG Ding, LI Hui, LIU Lina, et al. Increase of effective gas composition in CWS gasification[J]. Large Scale Nitrogenous Fertilizer Industry, 2013, 36(1):15-17.