

■ 煤炭洗选加工

煤泥二次浮选、二段回收 数质量流程计算的基础数据研究

吴朝荡¹, 张玉磊¹, 吴大为¹, 董爱民¹, 叶树强¹, 王敏鸽²

(1. 北京国华科技集团有限公司, 北京 101300;

2. 唐山国华科技国际工程有限公司, 河北 唐山 063020)

摘要: 介绍了适用于选前不分级、不脱泥的三产品重介质旋流器炼焦煤选煤厂的煤泥二次浮选、二段回收工艺流程及其主要特点; 在该工艺数质量流程计算的基础数据中, 除采用生产测试数据和实验室试验数据外, 还包括了9个数理统计学的回归方程用于定量计算, 以实现浮选入料上限控制在0.25 mm以下、粗选浮选机分室处理等项目标。

关键词: 选煤厂; 煤泥; 二次浮选; 二段回收; 回归方程; 基础数据

中图分类号: TD942 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8397(2020)01-0001-06

炼焦煤选煤厂的煤泥二次浮选、二段回收工艺流程是十几年前由北京国华科技集团有限公司(以下简称国华科技)创立的, 在数百座新建选煤厂或技改扩建厂的应用取得了良好效果, 近年来有所创新, 如: 将浮选入料粒度上限由0.5 mm降至0.25 mm; 粗选泡沫分室处理等。

在选煤工程设计中, 数质量流程计算是必不可缺的环节。为了使设计更加接近生产实际, 本文将通过系列的实验室试验, 尤其是工业性生产测试汇总而成的数理统计回归方程, 作为数质量流程计算的基础数据。

1 工艺流程

适用于选前不分级、不脱泥的三产品重介质旋流器炼焦煤选煤厂的煤泥二次浮选、二段回收工艺流程见图1。

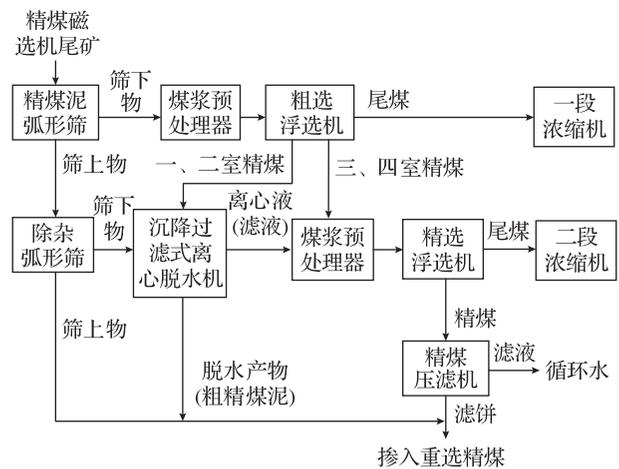


图1 二次浮选、二段脱水回收工艺流程示意

精煤磁选机尾矿进入精煤泥弧形筛分级, 其筛上物经除杂弧形筛后, 用沉降过滤式离心脱水机处理。精煤泥弧形筛筛下水经煤浆预处理器后

收稿日期: 2019-10-18 DOI: 10.16200/j.cnki.11-2627/td.2020.01.001

作者简介: 吴朝荡(1988—), 男, 江苏扬州人, 2009年毕业于中国矿业大学矿物加工工程专业, 工学学士, 北京国华科技集团有限公司高级工程师。

引用格式: 吴朝荡, 张玉磊, 吴大为, 等. 煤泥二次浮选、二段回收数质量流程计算的基础数据研究[J]. 煤炭加工与综合利用, 2020(1): 1-5, 9.

进入粗选浮选机,浮选机前两室的泡沫由沉降过滤式离心脱水机处理,脱水产物掺入重选精煤^[1]。

粗选浮选机后两室泡沫与沉降过滤式离心脱水机的离心液(含滤液)一起由另一台煤浆预处理器处理后,进入精选浮选机。精选泡沫由压滤机脱水回收,滤液作为循环水使用。粗选浮选机尾煤进入一段浓缩机,精选浮选机尾煤进入二段浓缩机。

该煤泥分选流程有如下特点:

(1)我国煤泥的可浮性普遍较差,浮选精煤灰分常常高于所要求的精煤灰分,致使重选精煤“背灰”,有悖于技术经济的合理性。所以,采用浮选精选(即二次选)工艺是发展的趋势。鉴于粗选(一次浮选)精煤灰分偏高的原因是含有约占其1/3的小于0.045 mm的细煤泥,需将其分离出来,再进行精选(二次浮选)。

(2)沉降过滤式离心机具有占地空间小,处理能力大,脱水产物水分较低且较为松散、易与重选精煤混合的优点。因此,将粗选精煤与精煤泥弧形筛的筛上物(粗精煤泥)掺粗后共同用该设备脱水、回收的同时,还起到了脱泥降灰的功效。

(3)利用快开压滤机固液分离彻底的特点,将其作为精选精煤脱水回收的把关设备,杜绝了煤泥小循环。

2 精煤泥弧形筛

2.1 入料

随着技术的进步,已有数量可观的选煤厂采用了无压给料三产品重介质旋流器与煤泥重介质旋流器组合分选工艺,重力选煤分选下限已达0.25 mm,甚至更细。本文对精煤泥弧形筛的功用定位于:①浮选入料上限为0.25 mm,筛下水中基本杜绝大于0.25 mm粒级;②筛上物中大于0.25 mm粗粒正配率近乎100%,尽可能脱除灰分较高的小于0.25 mm细粒级,以保证粗精煤泥质量^[2-3]。

2.1.1 小于0.5 mm粒级煤泥分配量

精煤泥弧形筛入料来自精煤磁选机尾矿,而精煤磁选机的入料中有相当部分是精煤脱介筛筛下水,筛下水中大于0.5 mm粒级的产率高低与各选煤厂的筛面状况有关(见表1)。推荐采用其平均值。

表1 精煤泥弧形筛入料中大于0.5 mm粒级产率

厂名	潘集	临涣	梗阳	凤凰台	林西	土城	盛宇	友谊	新亚	贺西	平均
>0.5 mm 产率/%	7.96	7.21	10.90	14.60	8.87	5.09	10.69	12.82	15.12	3.90	9.72

弧形筛入料中以小于0.5 mm粒级的煤泥为主,其产率多少与原料煤的煤泥含量有关,也跟重介质旋流器分选工艺有关。煤泥到底按什么比例分配到煤泥分选系统中,在公开刊物中鲜有这方面的报道。表2列出两个采用原料煤不分级、不脱泥的无压给料三产品重介质旋流器分选工艺的选煤厂生产系统大检查数据。

表2 小于0.5 mm粒级煤泥在重选产品中的分配量

厂名	磁选机尾矿				
	精煤	中煤	矸石	小计	
潘集选煤厂	煤泥量/(t·h ⁻¹)	86.10	9.70	7.00	102.80
(单系统)	分配量/%	83.75	9.44	6.81	100.00
贺西	煤泥量/(t·h ⁻¹)	69.60	6.10	12.00	87.70
选煤厂	分配量/%	79.36	6.96	13.68	100.00

根据工艺流程,各重选产品的磁选机尾矿分别进入全厂煤泥水系统,所以精煤弧形筛入料中的煤泥分配量就是精煤磁选机尾矿的分配量。鉴于精煤

泥分选生产系统对煤泥量的敏感性,推荐全厂小于0.5 mm粒级煤泥的分配量按85.00%考虑。

2.1.2 流量

精煤泥弧形筛入料煤泥水量源自精煤磁选机尾矿,此尾矿来自精煤脱介筛喷水(精煤脱介筛稀介质)以及煤泥重介质旋流器的溢流。

(1)喷水量。每个喷嘴流量 Q 可按式(1)计算:

$$Q = 3600\mu \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{200gH} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (1)$$

式中: H 为工作压力,MPa; d 为喷嘴直径,m; g 为重力加速度, m/s^2 ; μ 为流量系数,其值与 H 有关。据国华科技实测而建立的回归方程:

$$\mu = 0.96 - 0.32H \quad (2)$$

根据实测的喷嘴工作压力和脱介筛的喷嘴总数,按(1)、(2)式即可计算出喷水总量,这也可视为脱介筛筛下水的流量。

(2)煤泥重介质旋流器的溢流量。制造企业所提供的煤泥重介质旋流器使用说明书中,应该有在规定工作压力下的入料量数据。根据国华科技的经验,溢流量一般为入料量的0.8倍。

2.1.3 小于0.25 mm粒级的入料灰分

本文所涉及数质量流程计算的前提是重介质分选设备的分选下限已达0.25 mm,所以入料中大于0.25 mm粒级的灰分已符合质量要求。故此,需要确定的是入料中小于0.25 mm粒级的灰分,在数质量流程计算时,可考虑精煤泥弧形筛入料中小于0.25 mm粒级灰分要比原料煤中该粒级的灰分低3个百分点。

2.2 筛分产物

筛分产物的粒度组成与弧形筛的筛缝间隙有关,也可以说筛上物的各粒级分配率与筛缝间隙有关(见表3)^[4-5]。

表3 带有气动击打器的弧形筛筛上物各粒级分配率

筛缝间隙/mm	0.40	0.30	0.20	0.15
厂名	林西	潘集	凤凰台	凤凰台
粒级/mm	分配率			
>0.5	95.59	99.53	99.46	99.40
0.5~0.25	80.77	87.47	99.43	99.17
<0.25	7.23	9.64	21.23	25.89

从表3可看出,随筛缝间隙变小至0.20 mm时,大于0.25 mm的粗精煤泥近乎百分之百的被筛上物所回收,也就是浮选入料粒度上限可控制

表4 与筛缝间隙B有关的筛上物四项指标回归方程(带气动击打器)

指 标	回归方程	定量关系(B每减小0.1mm)	可靠性/%
筛上物浓度C/%	$C = 48.63 + 21.11B$	筛上物浓度就降低2.11个百分点	90
<0.25 mm粒级煤泥分配率 D_1 /%	$D_1 = 37.23 - 81.64B$	分配率 D_1 就增加8.16个百分点	95
0.5~0.25 mm粒级煤泥分配率 D_2 /%	$D_2 = 117.21 - 93.3B$	分配率 D_2 就增加9.33个百分点	90
筛上物灰分与销售精煤的比值E	$E = 1.38 - 0.98B$	比值E就增加0.1	80

表5 精煤泥弧形筛筛上物的四项指标

筛缝间隙/mm	0.40	0.30	0.20	0.15
筛上物浓度C/%	57.07	54.96	52.85	51.80
<0.25 mm粒级煤泥分配率 D_1 /%	4.57	12.73	20.90	24.98
0.5~0.25 mm粒级煤泥分配率 D_2 /%	79.89	89.22	98.55	
筛上物灰分与销售精煤灰分比值E	0.99	1.09	1.18	1.23

到0.25 mm。但同时灰分相对较高的小于0.25 mm粒级截留在筛上物中的数量增加后,也必然影响粗精煤泥的质量^[6]。

需要指出的是弧形筛是条状筛缝,从理论上讲狭窄形状的颗粒是可以透筛的,所以在筛下物中有极少量粗粒不足为怪。

国华科技经过工业性试验,建立了精煤泥弧形筛筛上物四项指标与筛缝间隙的回归方程(见表4)。根据表4可确定在不同筛缝间隙下四项指标的具体数值(见表6)。在选煤厂工程设计时,可以通过计算对比,以优化筛缝间隙。

根据以上基础数据,可完成筛分产物的数质量计算。顺便指出在整个流程计算中,很可能要将某个产物的百分浓度C换算为固体含量 q (g/L),其换算式为:

$$q = \frac{1000c}{100 - c + \frac{c}{\delta}} \quad (\text{g/L}) \quad (3)$$

设计计算的产物都是“虚拟”的,不是实体,其密度 δ 值不可测得,但人们已初步验证,可用大于0.5 mm综合粒级原料煤的浮沉资料来推导出煤炭密度与其灰分的回归方程来计算某一灰分下的煤泥密度,其表达式为: $\delta = a + bA_d$ (式中: a 为回归方程直线的截距; b 为斜率;不同的原料煤, a , b 值不同)。此回归方程易推导,在此特予推荐^[7]。

3 煤泥粗选

3.1 分步释放浮选试验

在选煤厂设计时,必须要有煤泥实验室浮选资料,至少要有原料煤性质相近的选煤厂煤泥浮选资料。为阐述方便,引用了一个有代表性的实验室煤泥分步释放浮选试验数据(见表6),据此表绘制的精煤产率与灰分关系曲线见图2。

表6 分步释放浮选试验结果

项目	产率/%	灰分/%	累计产率/%	加权平均灰分/%	修正后的加权平均灰分/%
第5次精选精煤	31.08	5.75	31.08	5.75	5.58
第5次精选尾煤	23.32	9.12	54.40	7.19	6.97
第4次精选尾煤	5.69	25.92	60.09	8.96	8.69
第3次精选尾煤	3.05	27.07	63.14	9.84	9.54
第2次精选尾煤	5.49	28.07	68.63	11.30	10.96
第1次精选尾煤	7.05	28.69	75.68	12.92	12.53
粗选尾煤	24.32	77.59	100.00	28.64	27.81
合计	100.00	28.64			

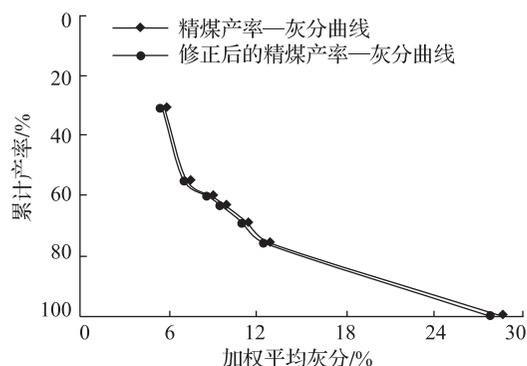


图2 精煤产率与灰分的关系曲线

由表6、图2可知:

(1)浮选入料中有24.32%单体解离程度甚好、灰分高达77.59%的矿物杂质。如果它们以黏土类矿物质形态存在的话,就会影响分选效果,此时,宜选用低浓度浮选。

(2)当要求最终浮选精煤灰分与销售精煤灰分9.50%一致时,其标准精煤产率为61.96%,此时尾煤产率为38.04%,灰分为59.82%。这意味着在保证浮选精煤灰分时,只靠常规的浮选流程将尾煤灰分提高到70%以上是不可能的。

无论所使用的分步释放浮选试验有多好的代表性,但跟设计计算的浮选入料灰分绝不会一致,必然有或高或低的差异。为使流程计算能够做到尽可能精确,有必要对实验室试验结果作适当修正。本文推荐采用精煤灰分修正法,即设计计算的浮选入料灰分与本次分步释放浮选试验各产物加权平均灰分的比值,此比值与表6第(4)纵栏各值相乘列于该表第(5)纵栏^[8]。若设计计算浮选入料灰分为27.81%,则该比值为0.97,据此绘制了修正后的曲线(见图2)。

按照表6、图2可得浮选产物的灰分和产率(见表7)。

表7 实验室浮选试验的各产物

项目	产率/%	灰分/%	修正后	
			产率/%	灰分/%
精煤	61.96	9.50	63.10	9.50
尾煤	38.04	59.82	36.90	59.12
合计	100.00	28.64	100.00	27.81

3.2 粗选泡沫分室处理

现以淮北选煤厂为典型案例,列出该厂粗选作业各浮选室泡沫粒度组成(见表8)^[9]。

表8 淮北选煤厂粗选作业各浮选室泡沫的粒度组成

粒级/mm	一室		二室		三室		四室		一、二室混合		三、四室混合	
	产率/%	灰分/%										
>0.5	1.07	7.42	1.05	8.85	0.81	11.42	0.30	11.47	1.03	8.80	0.59	11.41
0.5~0.25	7.02	7.89	6.98	9.74	5.27	12.57	2.94	13.17	6.91	9.48	4.73	12.00
0.25~0.125	38.55	8.76	36.88	10.32	33.57	13.35	22.69	14.36	36.86	9.77	29.32	13.53
0.125~0.075	21.91	8.02	18.50	11.28	20.55	13.73	18.60	14.15	19.95	10.83	19.14	13.96
0.075~0.045	12.40	9.36	13.51	11.42	12.43	13.87	14.31	14.20	13.27	11.11	13.70	13.66
0.045~0.030	4.32	9.23	4.01	12.71	3.55	14.36	4.09	16.23	4.11	12.43	3.94	14.13
<0.030	14.73	12.41	19.08	14.80	23.82	15.17	37.07	19.26	17.87	14.79	28.59	15.25
合计	100.00	9.15	100.00	11.54	100.00	13.91	100.00	16.15	100.00	11.14	100.00	14.06

从表8中可知:

(1)纵向看,各浮选室随粒径变小、灰分增

高的趋势明显。

(2)横向看,随浮选室序号增加,同一粒级

的灰分增高趋势明显,即随室序递增,泡沫灰分亦随之递增。

(3)一、二室混合泡沫中,大于0.045 mm 粒级产率为78.02%,灰分为10.24%;经后续作业,沉降过滤式离心脱水机将小于0.045 mm 的细泥大部分脱除,就可能获得质量合格(灰分为10.50%)的粗精煤泥产品。

(4)三、四室混合泡沫各粒级灰分均远超10.50%。若由沉降过滤式离心脱水机回收,只起到污染脱水产物质量的负面作用,因此将它们直接引入精煤浮选机是合理的。

如按表6数据,在选煤厂设计时可將粗选浮选机第一、二室泡沫灰分确定为10.00%,第三、四室泡沫灰分确定为12.00%,二者粗选精煤比例按3:2考虑,经计算一室至四室泡沫灰分为10.80%。从图2查得此时标准精煤产率为68.20%,按浮选数量效率(浮选数量指数)95%考虑,则粗选作业的分选产物产率如表9所示。

表9 粗选作业分选产物指标

分选产物	产率/%	灰分/%
一、二室泡沫	38.87	10.00
三、四室泡沫	25.92	12.00
尾煤	35.21	59.11
合计	100.00	27.81

4 沉降过滤式离心脱水机

沉降过滤式离心脱水机在煤泥二次浮选、二段回收系统中的功用有两点:一是将其入料中灰分较高的小于0.045 mm 粒级细煤泥脱除,降低灰分,以保证粗精煤泥质量;二是降低脱水产物水分,使其呈松散状掺入重选精煤之中。

国华科技根据多年的生产测试,发现入料灰分与表10所列的脱水产物指标存在可靠性较好的相关关系,所建立的回归方程适用于数质量流程的工艺计算。

表10 与入料灰分有关的脱水产物指标回归方程

项目	回归方程	定量含义(入料灰分A每增加一个百分点)	可靠性/%
入料灰分A与脱水产物固体回收率E的关系	$E = a - 3.53A$	脱水产物固体回收率减小3.53个百分点	80
入料灰分A与脱水产物水分W的关系	$W = b + 0.61A$	脱水产物水分增加0.61个百分点	80
入料灰分A与脱水产物相对降灰率F的关系	$F = 4.41A - c$	脱水产物相对降灰率增加4.41个百分点	90

注:脱水产物相对降灰率 $F = \frac{\text{入料灰分} - \text{脱水产物灰分}}{\text{入料灰分}} \times 100\%$ 。

5 煤泥精选

精选浮选机操作参数中除充气量、泡沫层厚度、刮泡量外,更为重要的是入浮煤浆浓度。

国华科技与潘一选煤厂合作,进行了一系列有关精选浮选机入浮煤浆浓度系列工业性试验。该选煤厂的精选浮选机有足够的容积,以适应入浮浓度大幅度变化时煤浆流量的波动。试验得到的数个回归方程中,有一个尤为适用于工艺计算(可靠性95%):

$$q = d - 10H \quad (4)$$

式中:q为入浮煤浆浓度,g/L;H为精选作业相对降灰率, $H = \frac{\text{入料灰分} - \text{精煤灰分}}{\text{入料灰分}} \times 100\%$ 。

该回归方程表征精选作业相对降灰率每增加一个百分点,入浮煤浆浓度需下降10 g/L。计算出精选浮选机的入浮煤浆浓度后,就可确定煤浆的流量,可为浮选机正确选型奠定基础。

6 结语

本文所介绍的煤泥二次浮选、二段回收数质量流程计算的基础数据中有以下特色:

(1)采用回归方程。数理统计学的回归方程实质上是将客观规律加以量化,具体有以下几种:一是与精煤泥弧形筛筛缝间隙有关的4个筛上物指标回归方程;二是与入料灰分有关的沉降过滤式离心脱水机脱水产物指标的3个回归方程;三是与精选作业相对降灰率有关的入浮煤浆浓度回归方程;四是借助于原料煤密度与灰分回归方程来计算相应灰分的煤泥密度;五是脱介筛喷嘴压力与其流量系数的回归方程。

(2)用选煤厂全厂生产系统大检查的数据来确定小于0.5 mm 粒级煤泥在煤泥二次浮选、二段回收流程中的分配量。

(3)用10座选煤厂的实测数据来确定精煤泥

(下转第9页)

参考文献

- [1] 董宪妹. 煤泥水处理技术研究现状及发展趋势 [J]. 选煤技术, 2018(3): 1-8.
- [2] 杨延军. 我国选煤厂煤泥水处理技术现状与发展方向 [J]. 山东煤炭科技, 2018(2): 171-173.
- [3] 冯岸岸, 周伟, 朱金波, 张勇. 煤泥水沉降特性试验研究 [J]. 洁净煤技术, 2018, 24(3): 14-18.
- [4] 沈宁. 煤泥水絮凝沉降效果影响因素研究 [J]. 选煤技术, 2018(3): 20-25.
- [5] 王玉明, 张爱青. 选煤厂难沉降煤泥水原因分析及对策 [J]. 洁净煤技术, 2018, 24(3): 130-133.
- [6] S. Kumar, N. R. Mandre, S. Bhattacharya. Flocculation Studies of Coal Tailings and the Development of a Settling Index [J]. International Journal of Coal Preparation and Utilization, 2015(36): 293-305.
- [7] H. Xu, J. Li, R. Fu, et al. Flocculation of coal washing wastewater using polysaccharide produced by *Paenibacillus mucilaginosus* WL412 [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2017, 24(36): 28132-28141.
- [8] 凌丽伟, 吉英华, 王召召. 易泥化难沉降煤泥水处理的研究与实践 [J]. 选煤技术, 2018(6): 132-135.
- [9] 王会平, 张鸿波, 王云婷, 阮兴福. 含煤系高岭土煤泥的沉降实验研究 [J]. 中国矿业, 2016, 25(6): 114-117.
- [10] 焦小森. 基于絮体特性的煤泥水混凝过程及调控机制研究 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2018.
- [11] 朱超. 细煤泥絮凝沉降特性研究 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2018(7): 1-3, 7.
- [12] 张超国. 探讨不同性质药剂对煤泥水沉降效果的影响 [J]. 煤炭技术, 2016, 35(2): 313-314.
- [13] 郑继洪, 赵兵兵. 阳离子型聚丙烯酰胺在煤泥水处理中的应用研究 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2016(21): 121-122, 141.

(上接第5页)

弧形筛入料中大于 0.5 mm 粗粒的产率和入料灰分比值。

(4) 对实验室煤泥分步释放浮选试验的精煤产率与灰分关系曲线的修正。

(5) 粗选精煤分室处理的产率与灰分的确定。

煤泥二次浮选、二段回收流程中的截粗弧形筛(筛缝为 2 mm), 主要用于除杂以减缓后续沉降过滤式离心脱水机的螺旋体磨损, 其筛上物产率甚小, 在数质量流程中可忽略不计。煤浆预处理和精煤压滤的作业与常规的工程设计流程计算相似, 故不再介绍。

数质量流程计算是选煤厂设计不可缺少的部分, 尽可能做到符合生产实际是永恒的主题。本文在这方面所做的一些探讨性尝试还远远不够, 仍须更加深入实际, 进一步充实提高。

参考文献

- [1] 郑州, 雷改萍, 郭雅利, 等. 镇城底矿选煤厂降低介

耗的措施 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2008(5): 3-5.

- [2] 马瑞平, 苏壮飞, 庾朝富, 等. 林西选煤厂精煤泥弧形筛气动式击打器的参数优化 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2015(11): 4-8.
- [3] 虞连祥, 庾朝富, 袁博文, 等. 用于精煤泥弧形筛的气动式击打器 [J]. 煤质技术, 2015(6): 60-65.
- [4] 赵树彦, 王鹏鹏, 苏壮飞, 等. 0.15 mm 筛缝精煤泥弧形筛工艺指标分析 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2016(9): 4-8.
- [5] 庾朝富, 李晓臣, 郭建伟, 等. 0.2 mm 筛缝精煤泥弧形筛工业性指标分析 [J]. 选煤技术, 2016(6): 59-63.
- [6] 王敏鸽, 苑金朝, 张旭磊, 等. 粗精煤泥回收系统技改前后的生产对比试验 [J]. 煤质技术, 2019(3): 68-73.
- [7] 武丽丽, 吴朝荡, 丁光耀, 等. 煤泥密度与灰分的正相关性验证 [J]. 选煤技术, 2016(1): 10-13.
- [8] 赵先华. 分步释放浮选曲线的修正及煤泥密度的确定 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2011(6): 4-8.
- [9] 刘锋, 郭平, 朱宾, 等. 一次浮选作业泡沫分室处理工艺在淮北选煤厂浮选系统改造中的应用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2016(3): 1-5.