

易泥化高密度无烟煤分选方法及工艺

于文慧, 崔广文, 徐东升, 张祥宇

(山东科技大学 化学与环境工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:结合当前无烟煤选煤技术现状和无烟煤产品市场应用情况,针对以进口朝鲜无烟煤为代表的无烟煤,通过筛分和泥化试验,研究其煤样性质和可选性,利用三锥水介旋流器和浮选试验,探讨此类无烟煤的分选效果。提出一种新的分选方法和工艺流程方案,即重介浅槽分选机-三锥水介旋流器-浮选联合工艺。该工艺结构简单,不需要脱泥入洗,解决了重介旋流器分选工艺中细粒级精煤脱介难题,为生产高质量无烟煤提供了可靠方法。经理论计算,最终理论精煤产率可达79.09%,灰分为9.80%。其中,块精煤灰分为10%,产率为10.97%;末精煤灰分为9.76%,产率为65.12%。

关键词:无烟煤;易泥化;高密度;选煤方法;选煤工艺

中图分类号:TQ536

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)05-0051-07

Separating Method and Process of Easy-to-Slime and High-Density Anthracite

Yu Wenhui, Cui Guangwen, Xu Dongsheng, Zhang Xiangyu

(College of Chemical and Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Considering the status quo of coal preparation technology and market application of anthracite products, the paper studied the properties and washability of the imported Korean anthracite through the screening and mud tests. The separation effect was evaluated through tri-hydrocyclone separator and flotation tests. The study presents a new separation method introducing the combined technology on dense medium separator, tri-hydrocyclone separator and flotation. The results show that this technology solves the problems of efficiently taking off heavy medium from the fine grained cleans in heavy-medium cyclone process without preliminary desliming and collecting high-quality anthracite as well. The theoretical calculation proves the yield of all cleaned coal, piece cleaned coal and powder cleaned coal is 79.09%, 10.97% and 65.12% respectively and their ash content is 9.80%, 10% and 9.76% accordingly.

Key words: anthracite; easy-to-slime; high-density; coal separating method; coal separating process

无烟煤具有煤化程度高、热稳定性好、固定碳含量高、燃烧时无烟、无粘结性、发热量大等特点。主要供民用和合成氨造气的原料。但随着冶金技术的发展与提高,低灰低硫可磨性好的高质量无烟煤不仅是理想的高炉喷吹和烧结铁矿石的燃料,而且可制造各种碳素材料如碳电极、碳块、阳极糊、活性炭等,在工业生产中有着极其广泛的应用。

无烟煤在配煤炼焦中可以起抗裂剂的作用,既可改善焦炭的孔壁结构、提高焦炭的冷热强度,又可降低配煤成本、扩大炼焦煤源^[1-3],而配煤炼焦中,要求无烟煤低灰分、低硫分,一般跟炼焦煤的灰分(10%以下)、硫分(0.5%以下)要求相同。因此,为了使无烟煤能够成为合格的炼焦配煤,必须经过洗选加工。

收稿日期:2013-11-26

基金项目:国家自然科学基金项目(51104095);中国煤炭协会指导性计划项目(MTKJ 2013-347)

作者简介:于文慧(1991—),女,山东潍坊人,硕士研究生,主要从事资源综合利用方面的研究. E-mail:ywh5443@163.com

崔广文(1963—),男,黑龙江宾县人,副教授,主要从事资源综合利用方面的研究,本文通信作者.

E-mail:cui Guangwen@sina.com

无烟煤储量虽多,但低灰低硫的高质量无烟煤少,限制了其开发利用。如能将部分普通无烟煤中的灰分和硫分降低,即可在扩大无烟煤使用范围、提高其经济价值的同时扩大低灰低硫无烟煤的来源范围。对无烟煤卖方和买方均有利。而洗选是目前脱灰和脱硫的首选方法。因此,开展无烟煤分选方法及工艺研究、生产优质的无烟煤具有现实及长远意义。

本研究以进口朝鲜无烟煤为研究对象,进行一系列分选研究。煤样分析结果表明,朝鲜无烟煤具有分选密度高、易泥化、细粒含量高的特点,采用常规的分选方法难以得到较好的分选效果。本文通过试验分析朝鲜无烟煤的煤质特征,结合市场需求状况,对朝鲜无烟煤的分选方法和工艺进行研究。

1 煤样性质

1.1 粒度组成分析

根据 GB/T 477—2008《煤炭筛分试验方法》对朝鲜原煤煤样进行筛分试验,得出其粒度组成见表 1 和表 2,其中大筛分各粒度级加权平均灰分为 20.29%,小筛分各粒度级加权平均灰分为 16.77%

表 1 大筛分试验结果表

Tab. 1 The consequence of big particles' sieving test

粒级/mm	产率/%	灰分/%	筛上累计	
			产率/%	灰分/%
50~25	3.67	38.84	3.67	38.84
25~13	6.80	30.54	10.47	33.45
13~6	8.93	27.22	19.40	30.58
6~3	18.08	20.32	37.48	25.63
3~0.5	30.64	17.43	68.12	21.94
小于 0.5	31.88	16.77	100.00	20.29
合计	100.00			

表 2 小筛分试验结果表

Tab. 2 The consequence of small particles' sieving test

粒级/mm	产率/%	灰分/%	筛上累计	
			产率/%	灰分/%
大于 0.45	0.31	13.29	0.31	13.29
0.45~0.25	11.83	14.92	12.15	14.87
0.25~0.175	14.53	14.74	26.67	14.80
0.175~0.125	12.00	14.13	8.67	14.58
0.125~0.097	8.31	13.52	46.98	14.40
0.097~0.074	5.23	13.51	52.21	14.31
0.074~0.045	36.89	17.69	89.11	5.71
小于 0.045	10.90	25.46	100.00	6.77
合计	100.00			

从表 1 中可以看出煤样粒度较细,大块含量较少。小于 13 mm 粒级占煤样的 89.53%,小于 6 mm 粒级占煤样的 80.60%。其中,原生煤泥量较大,占原料煤 31.88%,但灰分并不高,说明高灰细泥含量较少,对煤泥浮选效果影响不会太大。

从表 2 可以看出,原生煤泥中 0.074~0.045 mm 粒级含量最高,为主导粒级。一方面可能小于 0.045 mm 粒级的筛分效果差,另一方面也说明细泥含量小,浮选效果会好一些。小于 0.074 mm 粒级的含量占煤泥总量的 47.79%,浮选时药剂消耗量会增加。

1.2 密度组成分析

根据 GB/T 478—2008《煤炭浮沉试验方法》对朝鲜煤样进行浮沉试验,并绘制可选性曲线^[4],综合试验结果见表 3,可选性曲线见图 1。

表 3 50~0.5 mm 浮沉试验结果表

Tab. 3 The consequence of float-and-sink analysis of particle from 50 mm to 0.5 mm

密度级/(g/cm ³)	综合		浮物累计		沉物累计	
	占本级产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
小于 1.30	0	0	0	0	100.00	22.26
1.30~1.40	0	0	0	0	100.00	22.26
1.40~1.50	0	0	0	0	100.00	22.26
1.50~1.60	0	0	0	0	100.00	22.26
1.60~1.80	56.37	7.94	56.37	7.94	100.00	22.26
1.80~2.00	25.63	16.06	82.00	10.48	43.63	40.75
大于 2.00	18.00	75.88	100.00	22.26	18.00	75.88
合计	100.00					
煤泥	18.78	20.55				

从表 3 可以看出各密度级煤样的加权平均灰分为 22.26%，试验煤样小于 1.6 g/cm³ 低密度级别含量为 0，而小于 2.0 g/cm³ 密度级的煤灰分也较低(10.48%)，说明该煤样性质非常特殊，理论分选密度较高。此外，煤样中浮沉煤泥含量较大，约占本级 18.78%。

从图 1 可选性曲线可以看出，当精煤灰分为 10% 时，理论精煤产率占本级约为 80%，理论分选密度为 1.98 g/cm³，临近密度物含量为 32%，根据 GB/T16417—1996《煤炭可选性评定方法》，可知此煤属于难选煤。

1.3 泥化性质分析

根据 MT/T 109—1996《煤和矸石泥化试验方法》，将原料煤样中大于 0.5 mm 粒级煤和水一起放入转筒中，翻转一定时间，测定其粉碎程度及其所产生的微细颗粒的特征，同时观察煤泥水的特性。泥化试验结果见表 4 及图 2 和图 3。

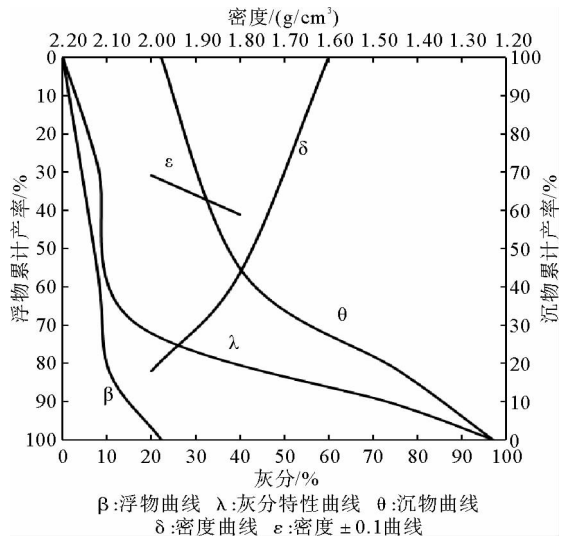


图 1 50~0.5 mm 可选性曲线

Fig. 1 Washability curve of particles from 50 mm to 0.5 mm

表 4 泥化试验结果表

Tab. 4 The consequence of slime test

时间 /min	产率/%					小计	0.5~0.045 mm	小于 0.045 mm	次生煤泥
	大于 3 mm	3~0.5 mm	0.5~0.045 mm	小于 0.045 mm	灰分/%		灰分/%	灰分/%	
15	39.21	32.74	13.18	14.87	100.00	13.78	25.56	20.02	
25	35.00	29.73	17.92	17.35	100.00	17.88	28.63	23.17	
35	29.44	33.09	18.76	18.70	100.00	19.62	35.86	27.73	

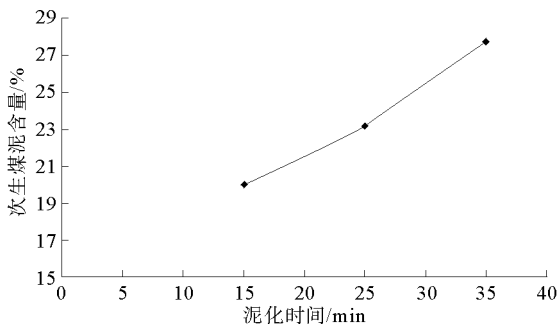


图 2 翻转时间与次生煤泥产率关系曲线图

Fig. 2 The relation graph of switching time and productivity of secondary slime

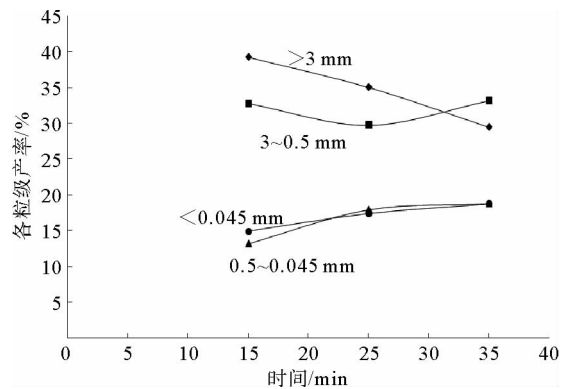


图 3 翻转时间与各粒级产率关系曲线图

Fig. 2 The relation graph of switching time and productivity of each grade

从表 4 中数据可以看出，设备运转 15 min 时(此时间一般足够实际分选设备完成分选过程)，产生的次生煤泥量可以达到本级的 28.05%。说明该煤样泥化现象很严重。但小于 0.045 mm 细泥灰分为 25.56%，与原生煤泥灰分接近，说明矸石泥化并不严重。

从图 2 和图 3 中可以看出，产生次生煤泥量与泥化时间基本成直线关系，随着时间的延长，次生煤泥量逐渐增多，大于 3 mm 粒级的量急剧减少。因此在选择选煤方法时，应注意尽量缩短煤炭在系统中的停留时间，以减少泥化现象。

2 分选试验研究

2.1 水介旋流器分选试验研究

使用山东科技大学研发的三锥水介旋流器(图 4),此设备以选煤厂常见的分级旋流器为基础,设计独特的结构参数,在分选过程中可以自生介质,使分选介质密度比水介质高,从而使之具备高分选密度的能力。

选择多个参数,对小于 6 mm 粒级的朝鲜煤样进行分选试验。试验参数见表 5。

将朝鲜煤煤样小于 6 mm 粒度作为试验原样。首先根据选定的试验参数(表 5),将原样配成质量浓度为 150 g/L 的煤泥水,用泵打入旋流器,调节入料压力及溢流管插入深度,正常运转 5 min 后分别接取入料、溢流、底流样品。将样品分别用筛孔为 0.20 mm 的筛子进行分级,分别测定溢流、底流中大于 0.20 mm 和小于 0.20 mm 粒度含量及灰分。根据入料、底流和溢流产品灰分计算出溢流和底流产率,然后计算出底流、溢流中大于 0.20 mm 粒度占入料中大于 0.20 mm 粒级的含量^[5]。

经试验得知,当溢流管插入深度为 30 mm,入料浓度为 150 g/L,入料压力为 0.05 MPa 时,试验效果较好,结果如表 6 所示。

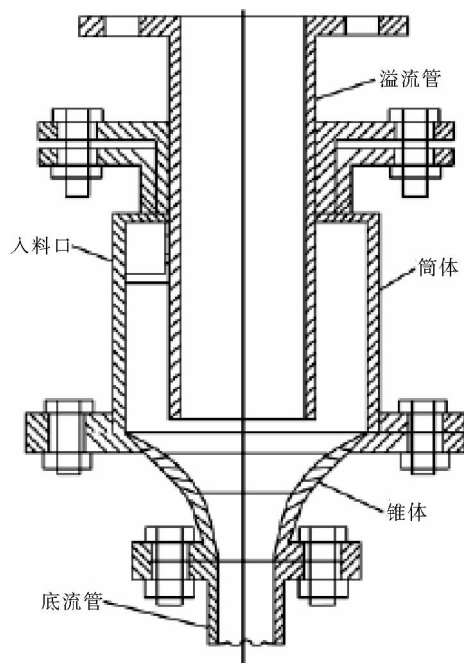


图 4 三锥水介旋流器结构示意图

Fig. 4 Structure diagram of tri-hydrocyclone separator

表 5 三锥水介旋流器试验参数表

Tab. 5 Test parameters of tri-hydrocyclone separator

旋流器 直径/mm	溢流管 深度/mm	入料压力 /MPa	入料质量 浓度/(g·L ⁻¹)
100	30	0.05, 0.06	150

表 6 三锥水介旋流器分选试验结果表

Tab. 6 The consequence of separation test of tri-hydrocyclone separator

分选方式	分级/mm	含量/%	灰分/%	综合产率/%	综合灰分/%	大于 0.20 mm 综合产率/%
入料	大于 0.20	26.88	13.25	100.00	17.81	100.00
	小于 0.20	73.12	19.48			
溢流	大于 0.20	36.74	10.39	95.71	16.63	91.16
	小于 0.20	63.26	20.26			
底流	大于 0.20	79.36	48.14	4.29	44.18	8.84
	小于 0.20	20.64	28.94			

由表 6 可以看出,溢流中大于 0.20 mm 粒级的灰分比较低,达到 10.39%,底流中大于 0.20 mm 粒级的灰分可以达到 48.14%。而且,大于 0.20 mm 粒度有 91.16% 进入溢流,说明分选效果较好。

2.2 浮选试验研究

将旋流器溢流和底流用筛孔为 0.2 mm 的筛子进行湿筛,测定小于 0.20 mm 煤泥灰分为 22.21%。将小于 0.20 mm 粒级的煤泥混合均匀进行浮选试验,采用 1.5LXFD 单槽浮选机,充气量为 0.20 m³/(m²·min)。通过捕收剂用量探索试验,得出当矿浆浓度为 60 g/L 时,捕收剂用量为 2.2 kg/t,起泡剂用量为 0.44 kg/t 浮选效果最好。然后以此药剂制度,对小于 0.20 mm 粒级的煤泥进行浮选速度试验:经 1 次加药多次刮泡,

前4次刮泡时间为0.5 min,后2次刮泡时间为1 min,共刮泡6次。试验结果见表7,绘制煤泥可浮性曲线见图5。

表7 浮选速度试验结果表

Tab. 7 The consequence of flotation speed test

浮选产品	产率/%	灰分/%	精煤(β)		尾煤(v)	
			累计产率/%	平均灰分/%	累计产率/%	平均灰分/%
第一精煤	31.78	7.12	31.78	7.12	100.00	22.21
第二精煤	11.69	8.32	43.46	7.44	68.22	29.24
第三精煤	8.26	8.89	51.72	7.67	56.54	33.56
第四精煤	6.50	10.42	58.22	7.98	48.28	37.79
第五精煤	8.57	12.87	66.80	8.61	41.78	42.04
第六精煤	5.56	15.33	72.35	9.12	33.20	49.58
尾煤	27.65	56.46	100.00	22.21	27.65	56.46
总计	100.00					

从图5中可以看出,分选时间为4 min时,精煤产率可以达到72.35%,精煤灰分为9.12%,计算可燃体回收率为84.52%,说明小于0.2 mm 粒级煤样可浮性为易浮。

3 选煤工艺方法确定

高变质老年无烟煤主导密度级一般在1.7~1.9 g/cm³,与矸石密度(2.0 g/cm³以上)的差距远小于一般煤炭,采用常规重力分选方法难度很大。目前国内无烟煤选煤厂采用的选煤工艺繁多,主要有块煤重介-筛末煤,单一跳汰全入洗,跳汰-浮选,块煤跳汰-末煤重介旋流器-煤泥浮选,块煤重介-末煤重介旋流器-煤泥浮选等等。入洗方式有混合入洗,也有分级入洗;混合入洗有出两产品的也有出三产品的,分级入洗和末煤入洗也一样^[6-7]。但这些方法都不能很好地得到产品,尤其是对于像朝鲜煤这样易泥化、分选密度高的煤,煤泥含量大,分选密度高,根本不适合重介旋流器分选,因此,提出了一种新的分选方法:大于6 mm 煤重介质浅槽分选,小于6 mm 煤水介旋流器分选,小于0.2 mm 煤泥浮选。

3.1 产品定位

无烟块煤主要用于造气,生产合成氨及工业燃气,一般要求粒度为13~100 mm,而且应当分档使用,如大块(40~100 mm)、中块(20~40 mm)、小块(13~20 mm)等,基于以上情况,建议加强无烟块煤洗选加工与产品分级,将洗中块、洗小块与洗粒煤作为选煤厂主要产品。各产品粒度范围可结合煤质特点进行调整,以满足用户需要。

无烟煤末煤是较好的民用燃料,同时也是建材工业生产水泥与石灰和电厂用燃料。作为燃料,无烟煤灰分、硫分低了有利于环境保护。高炉喷吹用煤粉主要是无烟煤,高炉喷吹用煤要求粒度小于0.074 mm(200目)占80%。高炉喷吹技术的发展趋势是喷煤量大幅度提高,焦比大幅度降低。为合理利用煤炭资源,尤其是作为高炉喷吹原料的低灰(10%以下)、低硫(0.5%以下)、质软易磨的无烟煤,其洗选加工的发展趋势应是逐步实现末煤全部入选,提高精煤产率,把末精煤作为无烟煤选煤厂的主要产品^[8]。

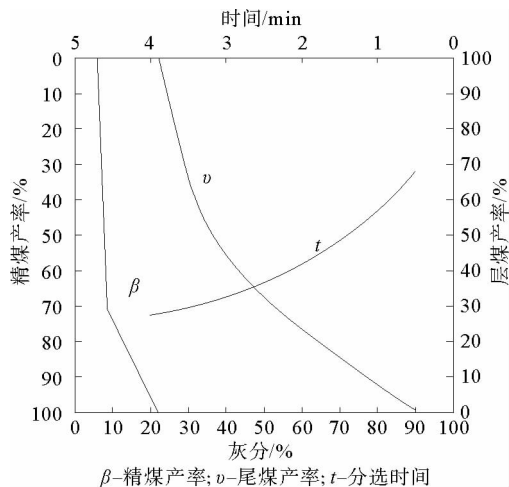


图5 煤泥可浮性曲线

Fig. 5 Floatability curve of coal slime

根据以上情况设计的工艺流程以块精煤和末精煤为主要产品,末精煤用于高炉喷吹和炼焦配煤,分选要求最终灰分小于 10%。

3.2 选煤工艺

根据市场对不同粒度煤的需求,结合朝鲜煤分选密度高、煤和矸石易于泥化、细粒含量多的特点,初步确定采用分级入选的方式,将 6 mm 作为分级粒度。50~6 mm 粒级的煤采用重介质浅槽分选机进行分选。小于 6 mm 粒级的煤采用三锥水介旋流器进行分选,旋流器底流和溢流经高频筛,筛下采用浮选工艺,主要生产块精煤和末精煤。

浅槽重介质分选机分选粒度范围宽。相对于跳汰分选设备来说,分选密度范围广,适合分选高密度煤,排矸能力较强;相对于其他重介设备来说,尤其是重介旋流器,浅槽重介分选机介耗低,可采用较粗的介质;由于朝鲜煤易泥化,而重介浅槽分选机分选过程中煤和矸石在悬浮液中停留时间很短(大约是普通跳汰机的 1/5~1/8,动筛跳汰机的 1/2~1/3),且煤和矸石在设备内运动十分平稳,可以认为是相对静态分选,因此煤和矸石在悬浮液中很少相互挤压摩擦,最大限度地提高了设备分选精度,减轻分选作业中产生的次生煤泥量,所以选用浅槽分选机对 50~6 mm 原煤进行分选^[9-11]。

在选煤厂中,水介旋流器一般作为分级浓缩设备出现,与螺旋分选机、TBS、高频筛配套使用,一般不具有分选能力。三锥水介旋流器是一种新型高效的分选设备,设备以常见的分级旋流器为基础,设计独特的结构参数,使之具有按密度分选的能力^[12]。应用此种水介旋流器进行分选不仅省去了重介质循环系统,降低介耗,节省投资,而且可以改善普通水介旋流器分选效果偏低的弊端。

浮选可以采用微泡浮选柱。相对于浮选机来说,微泡浮选柱具有明显的脱硫降灰能力,而且对微米级的极细粒煤特别有效^[13]。朝鲜煤中微米级细粒含量多,朝鲜煤可浮选煤中小于 0.074 mm(200 目)含量占 47.78%,回收相当可观,因此选用微泡浮选柱较为合适。

初步设计工艺流程方案如图 6 所示。该工艺流程特点在于:①充分利用重介浅槽分选效率高,物料在系

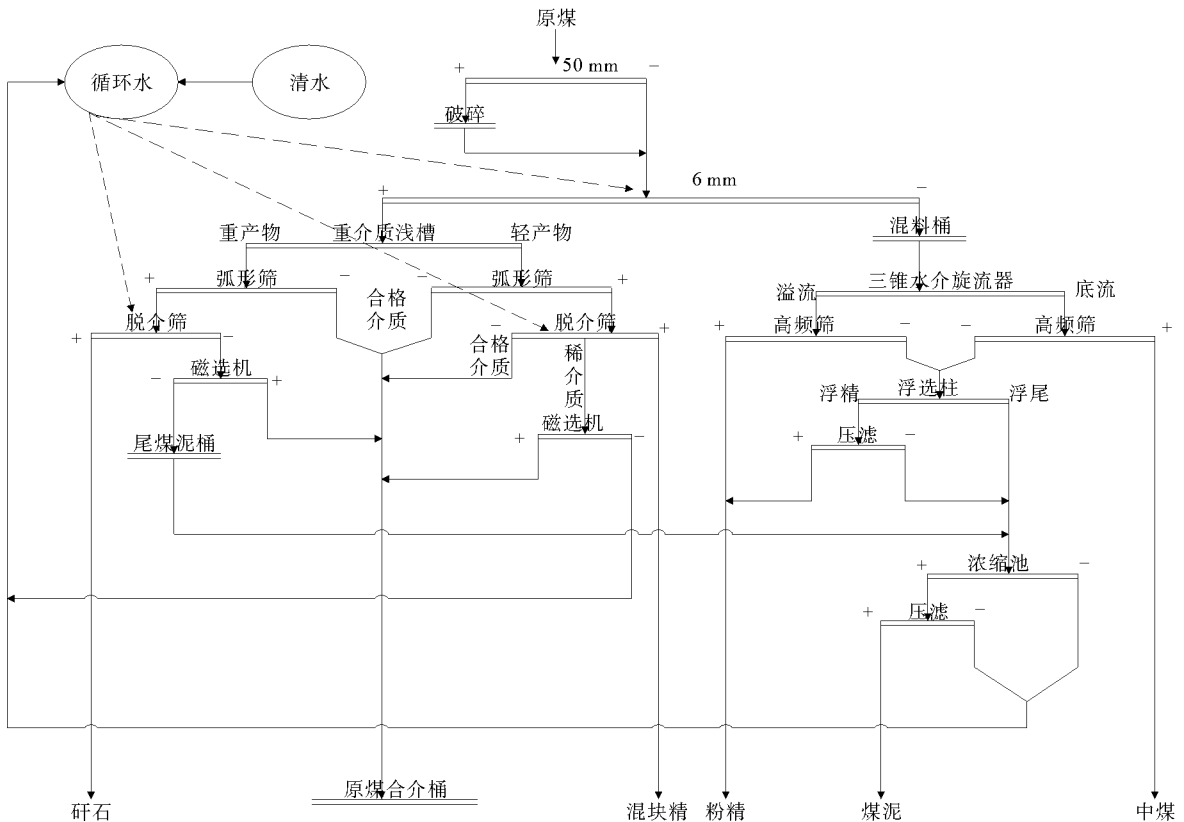


图 6 朝鲜煤初步设计工艺流程图

Fig. 6 Process flow diagram of primary design of North Korea coal

统中停留时间短;②特殊结构的三锥水介分选旋流器不仅不需要添加介质条件下就可以达到高分选密度,而且入料也不需要分级脱泥处理,系统极为简单。③煤泥可浮性好,尽管药剂消耗相对高些,但对于较高的精煤与煤泥差价来说,根本不是问题。④解决了重介旋流器分选工艺中细粒级精煤脱介难题。

4 结论

1)朝鲜煤属于无烟煤,分选密度高,50~0 mm 粒级的理论分选密度达到 1.98 g/cm^3 ,细粒级含量高,原生煤泥量达到 31.88%,煤较脆、易碎,泥化现象严重,泥化时间为 15 min 时,产生次生煤泥量为 28.05%。

2)煤泥可浮性属于易浮,虽然小于 0.074 mm 含量大,药剂消耗量相对较大,但回收的精煤效益可观。

3)该煤浮沉煤泥和次生煤泥量大,试验显示采用三锥水介旋流器能得到较好的分选效果。

4)采用分级入选工艺可以实现该煤有效分选,即大于 6 mm 粒级用重介浅槽式刮板分选机分选;6~0.2 mm 选用三锥水介旋流器分选;旋流器小于 0.2 mm 煤泥采用浮选工艺流程。

5)采用此工艺,理论上最终精煤产率可以达到 79.09%,灰分为 9.80%;中煤产率为 2.85%,灰分为 48.14%;矸石产率 5.42%,灰分为 83.53%;煤泥产率 12.63%,灰分为 52.45%。

参考文献:

- [1]张双全.煤化学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009:212-214.
- [2]韩永霞,杨俊和,钱湛芬,等.无烟煤配煤炼焦试验[J].燃料与化工,2000,31(2):64-66.
Han Yongxia, Yang Junhe, Qian Zhanfen, et al. Anthracite coal blending coking test[J]. Fuel and Chemical Processes, 2000, 31(2):64-66.
- [3]盛建文,王鑫海,江中砥,等.添加无烟煤配煤的试验[J].燃料与化工,2002,33(5):229-232.
Sheng Jianwen, Wang Xinhai, Jiang Zhongdi, et al. Add the anthracite coal blending test[J]. Fuel and Chemical Processes, 2002, 33(5):229-232.
- [4]谢广元.选矿学[M].徐州:中国矿业大学出版社,2010:282-287.
- [5]崔广文,郭启凯,宋国阳,等.三锥水介旋流器在粗煤泥分选中的应用[J].洁净煤技术,2013(1):1-4.
Cui Guangwen, Guo Qikai, Song Guoyang, et al. Application of tri-hydrocyclone separator in coarse slime separation[J]. Clean Coal Technology, 2013(1):1-4.
- [6]杨玉芬,陈清如,杨毅.高密度煤炭的分选加工[J].中国煤炭,1996(2):22-23.
Yang Yufen, Chen Qingru, Yang Yi. High density coal separation processing[J]. China Coal, 1996(2):22-23.
- [7]聂其英.对无烟煤洗选加工的特点分析[J].中国煤炭,2006(2):54-56.
Nie Qiying. Analysis of the characteristics of anthracite coal washing and processing[J]. China Coal, 2006(2):54-56.
- [8]张振红.无烟煤选煤厂工艺设计方案探讨[J].选煤技术,2005(8):40-42.
Zhang Zhenhong. Processing design of anthracite coal preparation plant[J]. Coal Preparation Technology, 2005(8):40-42.
- [9]郝凤印.选煤手册(工艺与设备)[M].北京:煤炭工业出版社,1993:84-86.
- [10]戴少康.选煤工艺设计的思路与方法[M].北京:煤炭工业出版社,2003:61-63.
- [11]杜焕铜.高效选煤厂的设计探讨[J].选煤技术,2010(2):65-68.
Du Huantong. Design of efficient coal preparation plant[J]. Coal Preparation Technology, 2010(2):65-68.
- [12]吕一波,孟令丽.复锥式水力旋流器的结构参数对分选效果的影响[J].选煤技术,2011(6):14-16.
Lü Yibo, Meng Lingli. The influence of cone-type hydrocyclone structure parameters on the separation effect[J]. Coal Preparation Technology, 2011(6):14-16.
- [13]刘炯天,周晓华,王永田,等.浮选设备评述[J].选煤技术,2003(6):25-33.
Liu Jiongtian, Zhou Xiaohua, Wang Yongtian, et al. Comment on flotation equipment[J]. Coal Preparation Technology, 2003(6):25-33.

(责任编辑:吕海亮)