

高效动力煤分选工艺研究

崔广文, 隋文浩

(山东科技大学 化工学院, 山东 青岛 266590)

摘要:为解决动力煤分选工艺中脱泥分级筛筛下 <2 mm 煤泥分级脱水后产品掺入混煤,使部分精煤进入混煤的问题,以高家梁动力煤选煤厂为例,通过分析高家梁动力煤选煤厂煤质特性,使脱泥筛筛下 <2 mm 煤泥进入三锥角旋流器进行再选,通过改变三锥角旋流器的结构、操作参数等,分析其分选效果及经济效益,最后提出了高效动力煤分选新工艺流程和动力煤分选展望。粗煤泥分选试验结果表明,分选后精煤灰分为 8% 时,产率为 30.91%,尾煤产率为 17.41%,灰分为 48.34%,细煤泥产率为 51.68%。增加三锥角旋流器后,部分粗颗粒煤泥通过分选得到精煤,每年可多出高发热量精煤 15.41 万 t,灰分为 8%,精煤价格为 298 元/t,其余所有产品去末煤系统,产率为 1.05%,灰分为 48.34%,总效益达到 1 664.63 万元。三锥角水介分选旋流器作为一种新型高效的粗煤泥分选设备,具有结构简单、占用空间小、入料粒度范围宽、适应性强、分选精度高和稳定可靠等优点。三锥角旋流器用于动力煤选煤厂粗煤泥分选,完善了动力煤选煤厂工艺流程,实现选煤效益最大化。

关键词:三锥角旋流器;动力煤;工艺流程;煤泥

中图分类号:TD94

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2019)01-0086-06

Study on the separation technology for high efficiency power coal

CUI Guangwen, SUI Wenhao

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

Abstract: During the separation process of power coal, the clean coal usually re-mixed into the blended coal due to the dewatering of below 2 mm coal slurry. The process of Gaojialiang power coal preparation plant was investigated by analyzing the coal quality. Coal slime under 2 mm desliming screen was re-sorted into the triple-cone angle cyclone. By changing the structural parameters and operational parameters of the triangle angle cyclone, the optimal separation results were obtained, and the separation effect and economic benefits were analyzed. According to the test results of the separation of coarse slime, the ash fraction is 8% with the yield of 30.91%, the tailings yield of 17.41%, the ash content of 48.34%, and the fine slime yield of 51.68%. After increasing triangle angle cyclone, a part of coarse coal slime can be separated to get clean coal. 154 100 tons of high calorific clean coal can be produced per year. The price of clean coal is 298 yuan per ton with ash content of 8%. The yield is 1.05% after removing other products from the final coal system, and the ash content is 48.34% with total benefit at 16.646 3 million yuan. As a new type of high efficient crude slime separation equipment, triangle angle water medium separation cyclone has the advantages of simple structure, small occupancy space, wide feed size range, strong adaptability, high separation accuracy and high stability and reliability. Triangle angle cyclone is used to separate coarse slime in power coal preparation plant, which improves the process flow of power coal preparation plant and maximizes the benefit of coal preparation.

Key words: triangle angle cyclone; power coal; technological process; coal slime

0 引 言

近年来,随着我国国民经济快速发展,对能源需

求量不断加大,特别是对优质动力煤需求量增加,从而推动了我国动力煤分选快速发展。2016 年我国动力煤入选量约 13.6 亿 t,入选率超过 56%,预计

收稿日期:2018-12-17;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.18121702

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51474140)

作者简介:崔广文(1963—),男,黑龙江宾县人,副教授,博士,从事煤炭分选工艺与设备研究工作。E-mail:13791958576@163.com

引用格式:崔广文,隋文浩.高效动力煤分选工艺研究[J].洁净煤技术,2019,25(1):86-91.

CUI Guangwen, SUI Wenhao. Study on the separation technology for high efficiency power coal[J]. Clean Coal Technology, 2019, 25(1): 86-91.



移动阅读

到2020年,我国原煤入选能力达到32亿t以上,原煤入选率达到75%,其中动力煤入选率超过70%,动力煤入选量约达到17亿t。发展动力煤选煤厂将成为未来选煤产业发展的主要方向。但要提高入选比例必须降低分选下限,由于细粒级筛分设备分级效率低,动力煤分选一般采用50(25)mm分级筛分级,块煤重介质浅槽分选、末煤重介旋流器分选、煤泥压滤回收工艺流程。选煤入选下限越低,产生煤泥数量越大,与低阶煤伴生的矸石易泥化,形成的煤泥灰分高、难脱水、热值低。国内外学者对动力煤分选工艺、分选入料粒度下限进行大量研究。建瑞革^[1]通过分析宁东选煤厂梅花井分厂的选煤工艺状况,提出了动力煤选煤厂块煤浅槽+末煤重介工艺适应市场多元化要求。夏云凯等^[2]通过分析现有湿法分选工艺处理动力煤存在的问题,提出了干法分选工艺以及一系列干选设备的工程应用。谭兴富^[3]通过论述入料原煤不同粒度下的动力煤工艺优缺点及应用情况,提出了开发高效的浓缩分级浮选工艺和设备是动力煤选煤厂的发展趋势。郑均笛^[4]分析了目前国内外动力煤选煤工艺,提出规模大型化、生产高效化、设计通用化和模块化是动力煤分选的发展趋势。曹建波^[5]研究表明,生产和消费决定了我国煤炭运输“西煤东调,北煤南运”的格局,大量低热值动力煤的远距离运输造成动力资源的浪费,建议通过高效分选降低运输成本。

由于在煤炭深度筛分方面出现了驰张筛、交叉筛等设备,提高了细粒级原煤分级效果,使得原煤分级粒度控制在6mm以下,动力煤干法脱粉工艺已得到普遍共识。为了减少煤泥量,提高企业经济效益,趋向于原煤采用3或6mm分级筛干法分级,分级筛筛下物料直接作为末煤产品销售。分级筛筛上物料经脱泥分级筛(筛孔2mm)脱泥后进入重介浅槽分选机分选出精煤和矸石产品销售。脱泥分级筛筛下小于2mm煤泥直接进行分级脱水,粗颗粒掺入混煤中销售,细颗粒煤泥经浓缩压滤后成为煤泥。由于分级筛分级效率相对较低,造成分级筛筛上物料中限下率较高,2mm脱泥分级筛负荷量增大;同时,重介浅槽分选机入选下限过低,势必影响重介浅槽分选效率及处理能力。此外,小于2mm粒级煤泥直接掺入混煤,使部分精煤进入混煤中,未有效利用资源,影响企业经济效益。选煤工艺决定了选煤厂的产品结构、生产方式、经济效益,因此动力煤选煤厂选煤工艺的研究、工艺流程的制定既要符合原煤特点,满足用户要求,又要最大化提高产品回收率。因此有必要开发一种高效动力煤分选工艺。

1 动力煤分选特点

动力煤是工业锅炉、发电、民用燃煤、窑炉的统称,动力煤消耗量约占我国煤炭消费总量的70%,其中电力行业消费量占动力煤消费总量的70%以上^[6]。目前我国煤炭资源的开发逐步西移,陕西、内蒙古、宁夏、新疆等地产量高,且主要以低灰、低硫、高挥发分、高热量的动力煤为主^[7]。我国动力煤选煤厂入选的原煤大多为低变质程度煤,如褐煤、长焰煤、不黏煤、弱黏煤等^[8]。近几年,随着我国环保意识逐渐增强,用户对动力煤的质量要求不断提高,动力煤的分选特点有:①以提高精煤产品发热量、减少煤泥量为目的。②动力煤选煤厂工艺流程较灵活,具有根据煤炭品种进行调节的能力。③动力煤分选盈利性较差,必须对动力煤进行深度分选,降低加工成本才能提高企业的竞争力。④由于低阶煤表面含氧官能团多、疏水性差,动力煤煤泥浮选尽管已进入工程实施阶段,但目前正常运行的较少^[9]。

2 三锥角旋流器用于动力煤分选

高家梁煤矿生产原煤为中水分、低灰、低硫分、中高热值、化学活性好的不黏煤,可作为优质动力煤。该煤矿选煤厂设计生产规模6.0Mt/a,处理量1136.36t/h,选煤工艺为原煤6~3mm筛分分级,筛下<6(3)mm末煤不入选,筛上进入2mm脱泥筛脱泥,脱泥后2~150mm粒级进入重介浅槽分选;脱泥筛下煤泥经旋流器分级后,粗煤泥采用离心机脱水回收;细煤泥浓缩后压滤机回收,煤泥全部厂内回收,洗水一级闭路循环。选后产品主要供给电厂的动力煤选煤厂,该厂工艺流程合理。鉴于目前三锥角水介质分选旋流器的成功应用,该煤矿选煤厂工艺流程有待进一步优化,具体方案如下:

1)将脱泥筛下小于2mm煤泥采用三锥角水介质分选旋流器分选^[10-12],可进一步提高精煤产率。

2)由于三锥角水介质分选旋流器分选上限达6mm,可将脱泥筛筛孔增到3~6mm,筛下粗煤泥采用三锥角水介质分选旋流器,减少进入重介浅槽分选机中的细颗粒含量,一方面改善重介浅槽分选条件,提高重介浅槽分选机的分选效率(重介浅槽分选机分选粒度6~150mm);另一方面增加重介浅槽分选机的处理能力,减少开车时间,降低成本。

2.1 高家梁选煤厂粗煤泥性质试验研究

2.1.1 粗煤泥粒度组成

煤样取自原煤脱泥筛筛下煤泥水中粗煤泥。粗

煤泥小筛分试验结果见表1。由表1可知, >0.2 mm 累计产率占 47.31%, 适于三锥角水介质旋流器分选的粗颗粒含量相对较多。实验室用三锥角旋流器筒体直径为 100 mm, 分选上限为 3 mm, 选煤厂使用的三锥角旋流器筒体直径为 500 或 700 mm, 分选上限可达到 6 mm。

2.1.2 煤泥密度组成

粗煤泥密度组成见表2。由表2可知, 该粗煤泥以中低密度级含量为主; <1.50 g/cm³ 浮物累计产率高达 70.94%, 灰分仅为 7.00%, 说明其中含有大量精煤, 必须分选该部分粗煤泥。>1.80 g/cm³ 含量占 16.55%, 矸石含量较大, 灰分为 83.24%。选用三锥角水介旋流器分选该部分粗煤泥合理。

表1 煤泥小筛分试验结果

Table 1 Screening test of coal slime

粒级/mm	产率/%	灰分/%	累计产率/%	累计灰分/%
>1	25.54	27.23	25.54	27.23
1.00~0.50	10.91	14.23	36.45	23.34
0.50~0.30	6.52	22.93	42.97	23.28
0.30~0.20	4.34	22.07	47.31	23.17
0.20~0.15	5.42	23.88	52.73	23.24
0.15~0.10	2.66	26.44	55.39	23.39
0.100~0.074	2.21	23.84	57.59	23.41
0.074~0.045	5.44	34.11	63.03	24.33
<0.045	36.97	41.78	100	30.78
合计	100	30.78		

表2 煤泥>0.2 mm 小浮沉试验结果

Table 2 Density component test of coal sample (>0.2 mm)

密度级/ (g·cm ⁻³)	产率/%	灰分/%	浮物累计		沉物累计	
			产率/%	灰分/%	产率/%	灰分/%
<1.30	29.78	5.45	29.78	5.45	100	22.10
1.30~1.40	15.34	6.45	45.13	5.79	70.22	30.60
1.40~1.50	25.81	9.12	70.94	7.00	54.87	36.92
1.50~1.60	10.49	22.20	81.43	8.96	29.06	58.95
1.60~1.80	2.02	50.73	83.45	9.97	18.57	79.71
>1.80	16.55	83.24	100	22.10	16.55	83.24
合计	100	22.10				

2.2 粗煤泥分选试验

2.2.1 三锥角旋流器分选试验

针对高家梁煤矿选煤厂提供的粗煤泥性质, 设计使用直径 100 mm 实验室用三锥角水介质分选旋流器对煤泥进行分选试验, 调整三锥角水介质旋流器结构参数与操作参数, 分选试验结果见表3。

由表3可知, 不同结构、操作参数下, 三锥角水介质旋流器分选效果不同, 溢流>0.2 mm 灰分在 5.40%~7.94%, 溢流>0.2 mm 综合产率为 7.06%~39.24%, 说明三锥角水介质旋流器对该煤样有较好的分选效果, 可得到不同质量要求的精煤。试点5精煤灰分为 6.95%, 精煤实际产率为 29.90%, 最接近选煤厂要求实际生产的精煤灰分, 满足生产要求。

2.2.2 分选效果

取第5试点溢流和底流中>0.2 mm 样品进行筛分、浮沉及化验分析, 结果见表4、5, 计算分配率并绘制分配曲线如图1所示。

表3 煤泥分选试验结果

Table 3 Result of coal slime separation experiment

试点	>0.2 mm 样品	灰分/%	综合产率/%
1	溢流	5.40	7.06
	底流	26.12	40.84
2	溢流	5.96	14.14
	底流	30.24	33.76
3	溢流	5.92	20.09
	底流	35.45	27.81
4	溢流	5.42	15.55
	底流	31.55	32.35
5	溢流	6.95	29.90
	底流	48.34	17.41
6	溢流	7.01	35.65
	底流	48.79	11.70
7	溢流	7.66	39.24
	底流	49.42	8.07
8	溢流	7.94	37.41
	底流	55.90	9.90

由表4可知, 相同粒级在精煤中灰分较低, 在重

产物中灰分较高,说明三锥角水介分选旋流器对各粒级均具有分选作用。由表5可知,精煤中只有 $<1.60\text{ g/cm}^3$ 密度级物料,说明重产物在溢流中

错配较少;重产物中 $<1.40\text{ g/cm}^3$ 密度级含量为19.41%,灰分6.12%,说明底流中还含有一定低灰煤,这是水介分选设备无法避免的。

表4 溢流和底流 $>0.2\text{ mm}$ 筛分试验结果
Table 4 Screening test of overflow and underflow($>0.2\text{ mm}$)

粒级/ mm	溢流				底流			
	产率/%	灰分/%	累计产率/%	累计灰分/%	产率/%	灰分/%	累计产率/%	累计灰分/%
>0.9	57.89	6.12	57.89	6.12	42.08	47.18	42.08	47.18
$0.90\sim 0.45$	25.32	6.12	83.22	6.12	31.05	42.13	73.13	45.04
$0.45\sim 0.30$	10.52	6.48	93.74	6.16	18.31	58.19	91.44	47.67
$0.3\sim 0.2$	6.26	12.34	100	6.55	8.56	55.96	100	48.38
合计	100	6.55	—	—	100	48.38	—	—

表5 溢流和底流 $>0.2\text{ mm}$ 小浮沉试验表
Table 5 Density component test of overflow and underflow($>0.2\text{ mm}$)

密度级/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	溢流				底流			
	产率/%	灰分/%	累计产率/%	累计灰分/%	产率/%	灰分/%	累计产率/%	累计灰分/%
<1.30	29.85	4.35	29.85	4.35	6.28	5.27	6.28	5.27
$1.30\sim 1.40$	25.38	5.23	55.23	4.75	13.13	6.53	19.41	6.12
$1.40\sim 1.50$	29.32	6.82	84.55	5.47	13.60	10.03	33.01	7.73
$1.50\sim 1.60$	14.64	12.76	99.20	6.55	12.26	21.15	45.27	11.37
>1.60	0.80	37.40	100	6.80	3.58	34.65	48.84	13.07
>1.80	—	—	—	—	51.16	82.41	100	48.55
合计	100	6.80	—	—	100	48.55	—	—

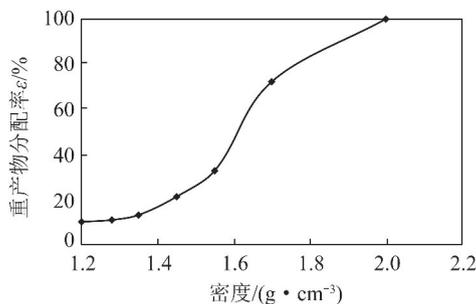


图1 分配曲线

Fig. 1 Distribution curve

根据试点5精煤灰分为6.95%,精煤实际产率29.90%,从可选性曲线上查出精煤理论产率为33.50%,数量效率为89.25%。由图1查出实际分选密度为 1.47 g/cm^3 ,可能偏差 $E_p=0.095\text{ g/cm}^3$,分选精度相对较高,分选效果满足生产要求。

2.3 经济效益预测

由粗煤泥分选试验结果可得到分选后精煤灰分为8%时,产率为30.91%(灰分为6.95%时,精煤产率为29.9%),尾煤产率为17.41%,灰分为48.34%,细煤泥产率为51.68%。根据实际生产统计粗煤泥和细煤泥在原煤中占比为6.31%,其中粗

煤泥占3%,细煤泥占3.31%。实际原煤量1650 t/h,根据2016年全年生产原煤量统计表知原煤生产量为790.42万t。

未增加三锥角旋流器时,脱泥筛产生的煤泥粗煤泥脱水进入末煤,总量为23.72万t,按照末煤价格190元/t计算,压滤煤泥为3.31%(26.16万t煤泥,煤泥价格为0),煤泥进入末煤系统销售总额是4505.41万元。

增加三锥角旋流器后,有一部分粗颗粒煤泥通过分选得到精煤,精煤产率为1.95%,每年可多出高发热量精煤15.41万t,灰分为8%,精煤价格为298元/t,其余所有产品都去末煤系统,产率为1.05%,灰分为48.34%;该部分煤泥加入末煤后,末煤由28.67%(末煤灰分以试验用煤样灰分为基准计算)增至29.38%,对末煤发热量影响不大,末煤价格仍按190元/t计算,压滤煤泥量则降为3.31%。分选后精煤和末煤销售总额是6170.04万元,总效益是1664.63万元。

脱泥筛筛下小于2 mm粗煤泥经三锥角旋流器分选后,每年可增加效益1664.63万元。三锥角旋流器将原煤脱泥筛筛孔变为3~6 mm,改善

原煤脱泥筛脱泥效果以及浅槽重介分选机分选条件,提高分选效率及处理能力,使动力煤分选工艺更完善。

3 动力煤分选新工艺流程设计

井下毛煤经过简单破碎($<200\text{ mm}$)后进入选煤厂原煤分级筛。原煤经过 $\phi 3\sim 6\text{ mm}$ 分级筛分级,筛下产物为混煤,筛上进入 6 mm 脱泥分级筛脱泥。 $\phi 6\text{ mm}$ 脱泥分级筛筛上进入重介浅槽分选机,重介浅槽分选机分选后的2种产物经过 $\phi 1\text{ mm}$ 固定筛与 $\phi 1\text{ mm}$ 脱介筛的脱水脱介后产生精煤与矸石。 $\phi 1\text{ mm}$ 脱介筛筛下水进入磁选机脱介,磁选机选出的精矿进入合格介质桶,磁选尾矿(煤泥水)进入水池打入脱泥分级筛脱泥使用。脱泥分级筛筛下

煤泥水进入煤泥桶,然后用泵打入三锥角旋流器进行分选。

三锥角旋流器溢流经弧形筛和离心脱水机脱水后的精煤与浅槽分选机的精煤混合,最终成为精煤产品。弧形筛筛下水与离心脱水机的离心液进入煤泥水收集桶。三锥角旋流器底流进入弧形筛与高频筛脱水,筛下水也进入煤泥水收集桶;筛上产物进入煤泥离心脱水机脱水后掺入混煤。煤泥水桶中物料用泵打入分级浓缩旋流器组,分级浓缩旋流器组溢流进入耙式浓缩机,耙式浓缩机溢流为循环水,耙式浓缩机底流进入压滤机,压滤机的最终产物为煤泥。分级浓缩旋流器组底流进入煤泥离心脱水机脱水,煤泥离心脱水机产物为混煤,离心液返回煤泥水收集桶。具体工艺流程如图2所示。

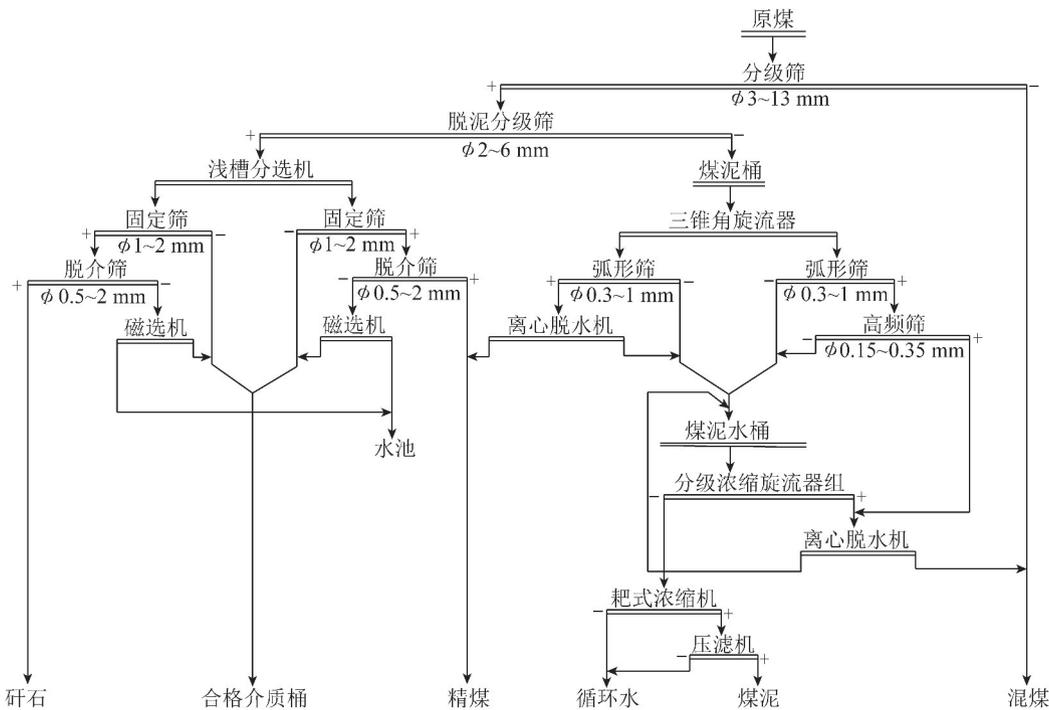


图2 高效动力煤分选新工艺流程

Fig. 2 New separation process of high efficiency power coal

在目前已有的动力煤分选过程中,脱泥筛筛下 $<2\text{ mm}$ 煤泥直接分级脱水,脱水后的 $<2\text{ mm}$ 煤泥直接掺入混煤,导致部分精煤进入混煤,未有效利用资源。基于三锥角水介质旋流器的特点,根据技术指标要求和实验室数据,结合选煤厂设计和现场管道布置情况,对粗煤泥分选工艺进行改造。本文提出的高效动力煤分选工艺,使脱泥筛筛下 $<6\text{ mm}$ 煤泥进入三锥角旋流器再次分选。自主研发的三锥角水介质旋流器是一种利用离心力场和重力场实现分选的新型高效粗煤泥分选设备,与传统水介质分级旋流器相比,其锥角大,锥体短,溢流管直径大,且插入筒体部分的长度更长,分选精度和分选效率更高。

该旋流器锥体部分分为3段,每段设定不同的锥角和锥面长度,通过改变锥体、溢流管插入深度等结构参数来实现不同粗煤泥的分选。由于三锥角独特的结构,能选出 $<6\text{ mm}$ 煤泥中混入的精煤,最大程度回收精煤产品,增加企业效益。同时,改善了浅槽重介分选机分选条件,提高分选效率和处理能力,提高精煤产率,降低成本。

4 动力煤分选展望

1) 动力煤选煤厂具有产品结构多元化,产品市场销售价格低等特点,选煤厂应根据原煤特性以及用户对产品的质量要求,结合选煤厂实际情况,选择

系统稳定、适应灵活的选煤工艺及设备。动力煤选煤厂的设计也应充分考虑各工艺环节的具体情况,根据工艺要求使生产系统各个环节相互协调,实现系统高效生产。

2) 三锥角水介分选旋流器作为一种新型高效的粗煤泥分选设备,具有结构简单、占用空间小、入料粒度范围宽、适应性强、分选精度高和稳定可靠等优点。三锥角旋流器用于动力煤选煤厂粗煤泥分选,完善了动力煤选煤厂工艺流程,能实现选煤效益最大化。

3) 动力煤选煤厂未来应着力开发先进高效的大型化煤泥水工艺及设备,提高产品回收率;开发低阶煤高效的浮选工艺及设备,提高精煤的回收率,减少煤泥损失;研究高效率的筛分设备,使入选原煤经过高效分选减少损失。在分选工艺流程的制定上,既要考虑分选粒级、分选效率、煤质特性、又要考虑加工费用和分选系统的灵活性,根据煤的可选性等进行综合比较确定合适的工艺流程。

参考文献 (References):

- [1] 建瑞革. 动力煤选煤厂的分选工艺设计[J]. 煤炭工程, 2012, 44(S1):33-35.
JIAN Ruige. Coal preparation process design of power coal preparation plant[J]. Coal Technology, 2012, 44(S1):33-35.
- [2] 夏云凯, 李功民. 我国动力煤干选技术现状及展望[J]. 洁净煤技术, 2017, 23(6):17-25.
XIA Yunkai, LI Gongmin. Current situation and prospects of power coal dry separation technology in China[J]. Clean Coal Technology, 2017, 23(6):17-25.
- [3] 谭兴富, 卢军, 孔鹏. 动力煤选煤厂脱粉入洗工艺研究[J]. 煤炭加工与综合利用, 2015(3):60-62.
TAN Xingfu, LU Jun, KONG Peng. Study on dedusting and washing technology in power coal preparation plant[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2015(3):60-62.
- [4] 郑均笛, 王美丽. 对我国大型动力煤选煤厂的评述和建议[J]. 煤炭加工与综合利用, 2017(5):1-4.
ZHENG Jundi, WANG Meili. Comments and suggestions on Large thermal coal preparation plants in China[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2017(5):1-4.
- [5] 曹建波. 我国低热值动力煤在火电行业的应用研究[D]. 大连:大连海事大学, 2013:1-20.
- [6] 齐正义. 动力煤深度洗选加工的研究[J]. 选煤技术, 2012(5):37-39.
QI Zhengyi. Research on deep washing and processing for power coal[J]. Coal Preparation Technology, 2012(5):37-39.
- [7] 鹿焕林, 范浙. 动力煤选煤厂提高经济效益的有效途径[J]. 河北煤炭, 2000(S1):8-9.
LU Huanlin, FAN Zhe. Effective ways to raise economic benefits of coal selecting plant for power use[J]. Hebei Meitan Hebei Coal, 2000(S1):8-9.
- [8] 杨晶. 动力煤洗选工艺现状及展望[J]. 煤炭加工与综合利用, 2018(3):53-54.
YANG Jing. Present situation and prospect of power coal washing technology[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2018(3):53-54.
- [9] 武立俊, 彭耀丽, 刘春华. 动力煤选煤厂煤泥浮选降灰提质增效试验研究[J]. 矿山机械, 2016(3):59-63.
WU Lijun, PENG Yaoli, LIU Chunhua. Test study on deashing and upgrading of coal slime by flotation in steam coal washery[J]. Mining and Processing Equipment, 2016(3):59-63.
- [10] 徐东升, 崔广文, 刘立文, 等. 三锥角水介质旋流器应用效果分析[J]. 选煤技术, 2015(1):41-44.
XU Dongsheng, CUI Guangwen, LIU Liwen, et al. Application effect analysis of tricone angle water medium cyclone[J]. Coal Preparation Technology, 2015(1):41-44.
- [11] 宗永泉, 张玉, 张运起. 三锥角水介质旋流器在万祥矿业选煤厂的应用[C]//2016年全国选煤学术交流会. 唐山:[s. n.], 2016.
- [12] 张运起, 崔广文, 王飞, 等. 三锥角水介质旋流器在脱泥分选工艺中应用的可行性研究[J]. 水力采煤与管道运输, 2016(4):27-32.
ZHANG Yunqi, CUI Guangwen, WANG Fei, et al. Feasibility study on application of tricone angle water medium cyclone in desliming and separation process[J]. Hydraulic Coal Mining and Pipeline Transportation, 2016(4):27-32.