

上榆泉煤矿洗选设备工艺性能检测及存在问题改进

周建国¹, 宋万军¹, 白 龙¹, 张国强¹, 李振宇¹, 王 磊¹, 张 鑫¹, 张耀杰², 张传祥³, 李小龙⁴

(1. 国家能源集团国神集团上榆泉煤矿, 山西 忻州 036500; 2. 鄂尔多斯应用技术学院, 内蒙古自治区 鄂尔多斯市 017000;

3. 河南理工大学 鄂尔多斯煤炭清洁开发利用研究院, 内蒙古自治区 鄂尔多斯市 017000;

4. 鄂尔多斯高新技术产业开发区科技人才局, 内蒙古自治区 鄂尔多斯市 017000)

摘 要:随着矿井煤炭资源的不断开采利用, 煤炭品质逐渐降低, 原有的工艺生产性能降低。为探究最佳生产方案, 选用矿井中原煤进行筛分浮沉实验, 并对主要洗选设备重介质旋流器、弛张筛、TDS 智能干选机做单机工艺性能检测, 得到重介质旋流器数量效率分别达到 97.49%, 弛张筛下层筛面总错配物含量 $M_0 = 8.2\%$, TDS 分选机的矸石带煤率 5.26%, 煤中带矸率 16.92%, 排矸率为 77.69%, 总错配物含量为 11.90%, 针对检测结果分析洗选设备存在的问题并提出建议。原煤粒度分布均匀灰分中等, 含矸量偏高, 多有泥化现象, 精煤灰分应控制在 30%; 重介质旋流器运行过程中应控制好重介质旋流器中介质悬浮液密度以及介质桶中介质悬浮液密度和液位; 张弛筛下层筛面筛分效率尚可, 但临近难筛粒度物含量较高, 生产中仍要进一步加强管理, 提高操作水平, 其次应当控制细粒级含量与入料水分, 尽可能减少细粒级物料与结团物料的产生; TDS 分选机的煤中带矸率明显高于标准值, 应提高对 TDS 分选机的日常维护, 及时检查线阵及物料上的异物, 严格控制入料水分, 建立完善的粉尘过滤及处理系统, 以提高 TDS 分选机的分选效率。

关键词:洗选设备; 工艺性能; 筛分; 浮沉; 检测

中图分类号:TD94 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-6772(2024)S1-0515-06

Process performance detection and improvement of washing equipment in Shangyuquan Coal mine

ZHOU Jianguo¹, SONG Wanjun¹, BAI Long¹, ZHANG Guoqiang¹, LI Zhenyu¹,

WANG lei¹, ZHANG Xin¹, ZHANG Yaojie², ZHANG Chuanxiang³, LI Xiaolong⁴

(1. Shangyuquan coal mine of state energy group Guoshen company, Xinzhou 036500, China; 2. Ordos institute of technology, Ordos 017000,

China; 3. Henan Polytechnic University Ordos Research Institute of Clean Coal Development and Utilization, Ordos 017000, China;

4. Science and Technology Talent Bureau of Ordos High Tech Industrial Development Zone, Ordos 017000, China)

Abstract: With the continuous exploitation and utilization of coal resources in mines, the quality of coal is gradually reduced, and the production performance of the original process is reduced. In order to explore the best production plan, the raw coal in the mine was selected for screening float and sink experiment, and the process performance of the main washing equipment heavy medium cyclone, relaxation sieve and TDS intelligent dry separator was tested. It was found that the quantity efficiency of heavy medium cyclone reached 97.49% respectively, and the total mismatch content of the screen surface under the relaxation sieve was $M_0 = 8.2\%$. The coal carrying rate of gangue, the coal carrying rate of gangue in the TDS separator is 5.26%, the coal carrying rate of gangue in the coal is 16.92%, the discharge rate of gangue is 77.69%, and the total mismatch content is 11.90%. According to the test results, the problems existing in the washing equipment are analyzed and suggestions are put forward. The original coal exhibits a uniformly distributed particle size with a moderate ash content, higher gangue content, and frequently presents a mud phenomenon. The ash content of the clean coal should be kept within 30%. During the operation of the heavy medium cyclone separator, it is crucial to maintain control over the suspension density of the medium in the cyclone and the medium density and level in the medium barrel. The lower sieve surface of the vibrating screen shows acceptable separation efficiency, but there is a higher content of difficult-to-screen particles nearby, necessitating further enhancement in

收稿日期: 2024-03-31; 责任编辑: 常明然 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.24033103

作者简介: 周建国 (1980—), 男, 江苏徐州人, 工程师。E-mail: zjgyh@163.com

通讯作者: 张耀杰 (1993—), 男, 河南省焦作人, 讲师。E-mail: 1020105281@qq.com

引用格式: 周建国, 宋万军, 白龙, 等. 上榆泉煤矿洗选设备工艺性能检测及存在问题改进[J]. 洁净煤技术, 2024, 30(S1): 515-520.

ZHOU Jianguo, SONG Wanjun, BAI Long, et al. Process performance detection and improvement of washing equipment in Shangyuquan Coal mine

[J]. Clean Coal Technology, 2024, 30(S1): 515-520.

production management and operational proficiency. Additionally, it is essential to regulate the content of fine particles and incoming moisture, aiming to minimize the generation of fine-grade materials and agglomerates. The reject rate of gangue in the TDS separator significantly exceeds the standard value, necessitating improved daily maintenance, timely inspection of the array and foreign materials on the material line, strict control over incoming moisture, and the establishment of a comprehensive dust filtration and treatment system to enhance the separation efficiency of the TDS separator.

Key words: washing equipment; process performance; sieving; float and sink; detection

0 引 言

我国的能源消费主体是煤炭,2022 年我国能源消费同比增加 2.9%,煤炭资源产量 45.0 亿 t,同比增加 9%,煤炭资源进口量 2.9 亿 t,同比下降 9.2%,煤炭资源消费占总能源结构的 56.0%^[1-2]。大量的煤炭生产利用带来水资源污染、空气污染等问题^[3-4]。党的二十大报告中对煤炭资源利用作出新指示,应做好煤炭资源的高效清洁生产 and 可持续发展利用。

煤炭分选是实现煤炭资源高效清洁利用的重要手段,煤炭分选不仅可减少煤炭中杂质的含量,提高煤炭资源的质量达到工业燃烧和化工制品利用的要求,还可以减少煤炭中污染物的排放,保护环境^[5-6]。但随着矿井煤炭资源的不断开采利用,煤炭品质逐渐降低,原有的工艺对现有的煤炭洗选性能也降低^[7-8]。毕明勋^[9]将凉水井煤矿两台单层筛分设备改造为相同规格的双层弛张筛,原煤筛分设备的处理能力从改造前 1 788 t/h 提升至 1 800 t/h 以上,选煤厂筛分效率从 90% 提升至 95%,彻底解决矿井原煤煤质变差导致筛分效率低的问题。针对田庄选煤厂选煤工艺不能适应煤质变化,介耗高的问题,李茂刚^[10]改用新工艺流程,+16 mm 粒级由斜轮分选机分选,16~1 mm 粒级由重介旋流器分选,1~0.25mm 粒级由粗煤泥分选机分选,产能由原先的 5 Mt/a 提高到 10 Mt/a,介耗从 2.51 kg/t 降至 2 kg/t。在提高煤炭发热量方面,李伟^[11]采用弛张筛替代之前的振动筛脱粉并在块精煤破碎后增加离心脱水环节,使产品精煤产率稳定在 54% 以上,精煤全水分降低约 3.1%,发热量增加约 592 kJ/kg,入选原煤利润增加了 15 元/t。为改善益门煤矿选煤厂中原煤细粒级含量增大、难以分别入洗不同煤种原煤的情况,周月雯^[12]以重介工艺替换原有的跳汰工艺,增加 1 台浓缩机和 2 台尾煤压滤机处理产生的煤泥水,改造后精煤产率从 69.02% 增加至 81.89%,灰分降低了 0.4%。张惠林^[13]通过增加重介分选工艺解决赵固二矿块煤中的块中煤含量超标的问题,新工艺产品块煤中的块中煤产率均值由

6% 降至 2.50%,改造后入洗 1 t 原煤的收入增加 6.247 元,每年可增加收入 2 186.45 万元。

上榆泉煤矿洗选中心隶属于国家能源集团,位于山西省忻州市河曲县巡镇镇,是配套于上榆泉煤矿的矿井型选煤厂,设计处理能力 8.0 Mt/a^[14-15]。上榆泉煤矿洗选中心采用智能干选机分选 200~50 mm 的原煤,50~6 mm 的末煤采用有压两产品重介旋流器分选^[16-17]。本文针对上榆泉煤矿原煤灰分升高,煤中带矸率高,洗选过程泥化现象严重的问题,按照相关国家标准与规范要求对原煤进行筛分浮沉实验,并对重介质旋流器、弛张筛、TDS 智能干选机进行检查试验研究与工艺性能评定,分析测试结果并提出建议。

1 实验方法

1.1 煤样分析

上榆泉煤矿的煤田处于山西河东煤田,原煤为长焰煤,具有中高灰、低硫、低磷、低氧化钙、高灰熔点等特点^[18]。根据 GB/T 477—2008《煤炭筛分方法》,选取上榆泉煤矿的煤炭制样后做工业分析,并采取生产煤样做煤炭筛分试验以及煤炭浮沉试验,选煤厂原料煤应处于空气干燥状态,按照粒度上限确定:200 mm 不少于 6 t,100 mm 不少于 2 t,50 mm 不少于 1 t。

1.2 重介质旋流器性能分析

对重介质旋流器入料和产品进行筛分试验与分粒级浮沉试验,得到其密度组成特性。根据 GB/T 15716—2005《煤用筛分设备工艺性能评定方法》和 GB/T 15715—2014《煤用重选设备工艺性能评定方法》等国家标准,在筛分、浮沉资料的基础上对重介质旋流器的分选精度、分选数量效率等进行综合评定^[19]。

采取重介质旋流器煤样粒度要求:200 mm 不少于 6 t,100 mm 不少于 2 t,50 mm 不少于 1 t 且所采煤样应是空气干燥状态。按国标要求进行筛分和浮沉实验,在重介质旋流器入料、精煤及矸石筛分浮沉实验基础上计算产率与分配率分析,并根据上述结果计算入料生成与可选性以及该设备的数量效率、

可能偏差、错配物等各项工艺性能指标,计算结果检验:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N - M + 1} \sum_{j=1}^N (G_{0j}^0 - G_{0j})^2}, \tag{1}$$

$$G_{0j}^0 = \sum_{i=1}^M \gamma_i G_{ij} / 100, \tag{2}$$

$$\gamma_i = g_{0i} / g_{1i}, \tag{3}$$

式中, σ 为均方差; N 为浮沉试验时的密度级数; M 为分选产品数; G_{0j}^0 为计算入料中第 j 个密度级的产率,%; G_{0j} 为实际入料中第 j 个密度级的产率,%; G_{ij} 为第 i 种产品中第 j 个密度级的产率,%; γ_i 为第 i 种产品的产率,%, 产品顺序号按灰分自小到大排列。

$$\eta = \frac{\gamma_p}{\gamma_t} \times 100\%, \tag{4}$$

式中, η 为数量效率,%; γ_p 为实际精煤产率,%, 由分配率计算过程中的计算产率可得; γ_t 为理论精煤产率,%, 由可选性曲线通过理论精煤灰分可查出。

1.3 弛张筛性能分析

弛张筛筛上物料采集不少于 2 t/样、筛中物料不少于 1 t/样和末煤需采集不少于 0.5 t/样的煤,并根据 GB/T 15716-2008《煤用筛分设备工艺性能评定方法》,结合筛分数据对弛张筛分级筛的筛分效率进行综合评定^[20]。

错配物含量计算公式为:

$$M_o = M_c + M_f, \tag{5}$$

式中, M_o 为总错配物含量; M_c 为粗粒(筛上)产品中的错配物含量,即粗粒(筛上)产品中的细粒物占入料的百分数,%; M_f 为细粒(筛下)产品中的错配物含量,即细粒(筛下)产品中的粗粒物占入料的百分数,%。

总错配物含量的计算公式为:

$$M_o = M_l + M_h, \tag{6}$$

式中, M_o 为总错配物含量(占入料),%; M_l 为密度小于分选密度的物料在重产品中的错配物(占入料),%; M_h 为密度小于分选密度的物料在轻产品中的错配物(占入料),%。

1.4 TDS 智能干选机性能分析

智能干选机入料、精煤及矸石需采集不少于 2 t,且处于空气干燥状态。根据 T/CCT 11-2019《干法选煤技术规范》团体标准,在筛分、浮沉资料的基础上对智能干选机的分选精度、分选数量效率等进行综合评定。

$$\gamma_1 = \frac{W_m}{W_c} \times 100\%, \tag{7}$$

式中, γ_1 为矸石带煤率,%; W_m 为矸石产品经过人工手选或者浮沉试验后得到煤样的重量,kg; W_c 为矸石产品的总重量,kg。

$$\gamma_2 = \frac{W_g}{W_p} \times 100\%, \tag{8}$$

式中, γ_2 为煤中含矸率,%; W_g 为煤样产品经过人工手选或浮沉试验后得到矸石的重量,kg; W_p 为煤样产品的总重量,kg。

$$\eta_3 = \frac{(1 - \gamma_d) \gamma_s}{\gamma_t} \times 100\%, \tag{9}$$

式中, γ_d 为矸石带煤率,%; γ_t 为矸石理论产量,%; γ_s 为矸石实际产率,%。

2 实验结果分析

2.1 原煤工业分析以及筛分浮选分析

原煤样工业分析结果见表 1。利用筛分浮沉数据绘制煤样 200~0.5 mm 可选性曲线(图 1)。

表 1 原煤工业分析

水分/%		灰分/%	挥发分/%	固定碳%	高位发热量/ (J · g ⁻¹)	低位发热量/ (J · g ⁻¹)	抗碎强度	可磨性	黏结性指数
M_t	M_{ad}	A_d	V_{daf}	FC_d	$Q_{gr,d}$	$Q_{net,ad}$	SS	HGI	G
6.89	5.81	44.03	34.73	18.69	13 972	12 624	90.06	60	11

> 1.80 kg/L 密度级产率较高是 41.51%, <1.50 kg/L 密度级的灰分较高,且含量较多,难以选出低灰精煤;当精煤灰分要求 10%时,其理论精煤产率为 12.17%,理论分选密度为 1.31 kg/L,去矸后 $\gamma_{\delta \pm 0.1} = 25.98\%$,可选性为较难选;当精煤灰分要求为 12%时,其理论精煤产率为 16.03%,理论分选密度为 1.34 kg/L,去矸后 $\gamma_{\delta \pm 0.1}$ 为 26.91%,为较难选;当精煤灰分要求为 14%时,其理论精煤产率为

19.87%,理论分选密度为 1.35 kg/L,去矸后 $\gamma_{\delta \pm 0.1}$ 为 25.41%,为较难选煤;当精煤灰分要求为 16%时,理论精煤产率约为 25.49%,理论分选密度为 1.37 kg/L,去矸后 $\gamma_{\delta \pm 0.1}$ 为 25.10%,为较难选;当精煤灰分要求为 18%时,理论精煤产率约为 31.87%,理论分选密度为 1.41 kg/L,去矸后 $\gamma_{\delta \pm 0.1}$ 为 23.57%,为较难选。当精煤灰分为 30%时,理论产率为 62.14%,理论分选密度 1.78, $\delta \pm 0.1$ 含量 29.85%,难选, 200 ~

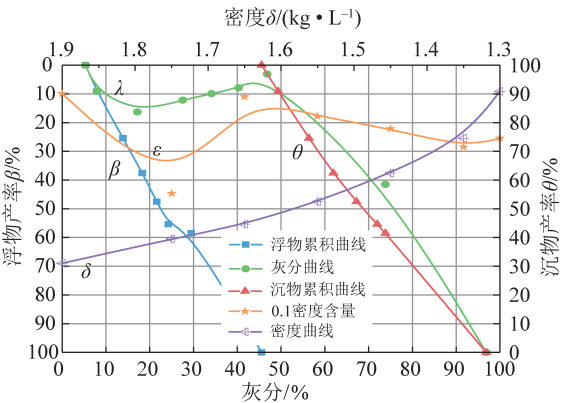


图 1 煤样浮沉 200~0.5 mm 可选性曲线

0.5 mm 可选性评价见表 2。

表 2 200~0.5 mm 可选性评价

精煤灰分/%	理论产率/%	理论分选密度/($\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\delta \pm 0.1$ 含量	可选性等级
10	13.80	1.32	26.48	较难选
12	19.54	1.34	27.62	较难选
14	24.87	1.35	28.48	较难选
16	28.49	1.40	25.01	较难选
18	30.87	1.45	22.39	较难选
30	60.11	1.75	32.11	难选

2.2 重介质旋流器性能分析

为了核查原始数据的可靠性,均方差不应超过临界值,临界值的取值原则如下:对于重介主选,临界值一般取 1.4。计算产率结果进行均方差检验,各粒级经计算均方差都<1.4,均符合标准中对均方差的要求,因此判定实验数据可靠。

根据图 2 计算可选性曲线可得:对该重介质旋流器入料,当理论精煤灰分 27.44%时,其理论精煤产率为 59.20%,理论分选密度为 1.81 g/cm^3 , $\gamma_{\delta \pm 0.1} = 13.02\%$,可选性为易选,实际精煤产率 57.13%,数量效率计算如下:

$$\eta = \frac{57.13\%}{59.20\%} \times 100\% = 96.5\%。$$

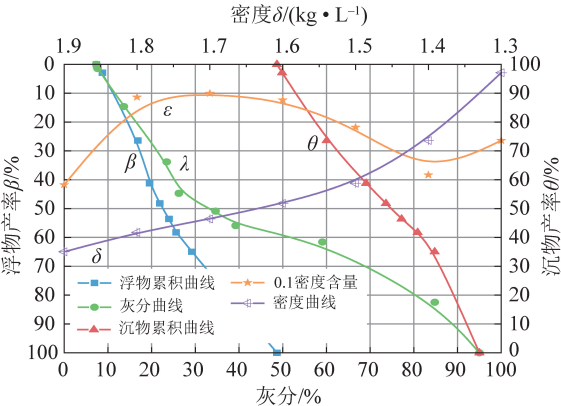


图 2 重介质旋流器入料可选性曲线

分析可得该重介质旋流器在实际分选密度时,精煤产率与浮沉实验确定的理论分选密度对应的理论精煤产率比较接近,说明该设备运行状况良好。

2.3 张弛筛性能分析

对弛张筛入料和产品样品进行筛分实验,计算筛上产品、中间产品、筛下产品产率分别为:26.22%,59.05%,14.74%。错配物含量可由错配物曲线读出,根据错配物数据分别绘制两层筛面的错配物曲线,如图 3、图 4 所示。

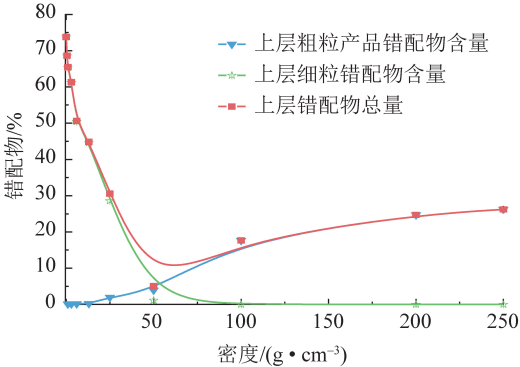


图 3 弛张筛上层筛面错配物曲线

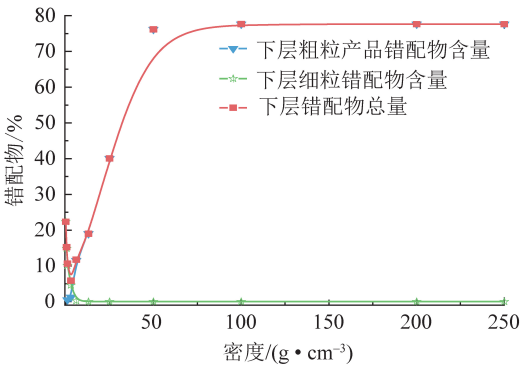


图 4 弛张筛下层筛面错配物曲线

由图 3 可查得,弛张筛上层筛面:等误粒度 $S_e = 45 \text{ mm}$,对应粗细错配物含量均为 3.2%,总错配物含量为 6.4%。在分配粒度 $S_{50} = 53 \text{ mm}$ 时,粗粒产品中的错配物含量 $M_e = 4.5\%$,细粒产品中的错配物含量 $M_f = 0.5\%$,总错配物含量 $M_0 = 5.0\%$ 。在指定粒度 $S_d = 50 \text{ mm}$ 时,粗粒产品中的错配物含量 $M_e = 3.94\%$,细粒产品中的错配物含量 $M_f = 1.13\%$,总错配物含量 $M_0 = 5.07\%$ 。

由图 4 可查得,弛张筛下层筛面:等误粒度 $S_e = 3.7 \text{ mm}$,对应粗细错配物含量均为 4.1%,总错配物含量为 8.2%。在分配粒度 $S_{50} = 3.9 \text{ mm}$ 时,粗粒产品中的错配物含量 $M_e = 4.1\%$,细粒产品中的错配物含量 $M_f = 4.1\%$,总错配物含量 $M_0 = 8.2\%$ 。在指定粒度 $S_d = 6 \text{ mm}$ 时,粗粒产品中的错配物含量 $M_e = 11.52\%$,细粒产品中的错配物含量 $M_f = 0.23\%$,总

错配物含量 $M_0 = 11.75\%$

2.4 TDS 智能干选机性能分析

对各粒级进行浮沉实验并将浮沉结果绘制计算入料的可选性曲线,如图 5 所示。

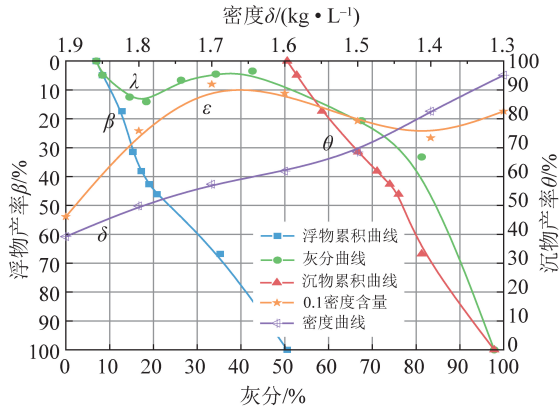


图 5 TDS 智能干选机入料可选性曲线

计算 TDS 智能干选机的错配物含量绘制错配物曲线,如图 6 所示。根据所绘制的错配物曲线查得:总错配物含量 9.60%。

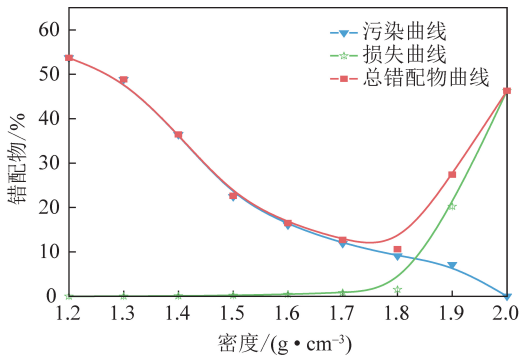


图 6 TDS 智能干选机错配物曲线

TDS 矽石带煤率为:

$$\gamma_1 = \frac{1.92}{100} \times 100\% = 1.92\%。$$

TDS 煤中带矽率为:

$$\gamma_2 = \frac{17.99}{100} \times 100\% = 17.99\%。$$

TDS 煤中带矽率为:

$$\eta_3 = \frac{(1 - 0.0192) \times 0.4630}{0.5251} \times 100\% = 77.69\%。$$

3 结 论

1) 原煤检测分析可知:该中心原煤属于低中灰分、低硫分、低热值、中高挥发分、低黏结性,属于弱黏煤,原煤粒度分布均匀灰分中等,含矽量偏高,多有泥化现象,且矽石泥化产生的高灰细泥物质可能对生产影响比较突出。因此,应避免煤在水中长时间浸泡,缩短分选时间,并对煤泥水循环利用过程应

得到高效调控。此外,结合上榆泉煤矿洗选中心现场煤质特征及生产条件,精煤灰分控制在 30% 应较为合理。

2) 重介质旋流器单机检测可知:重介质旋流器入料理论精煤灰分 27.44% 时,理论精煤产率为 59.20%,理论分选密度为 1.81 g/cm³, $\gamma_{\delta \pm 0.1} = 13.02\%$,可选性为易选,实际精煤产率 57.13%,重介质旋流器入选分选效果的可能偏差均为 0.05 g/cm³,重介质旋流器数量效率分别达到 96.05%。在实际运行过程中应注意控制好重介质旋流器中介质悬浮液密度与介质桶中介质悬浮液密度和液位,加强关键环节管理,确保最终的分选效果达标。

3) 双层弛张筛单机检测可知:双层弛张筛筛上产品、中间产品、筛下产品的产率分别为 26.22%、59.05%、14.74%。上层筛面总错配物含量 $M_0 = 5.07\%$,下层筛面总错配物含量 $M_0 = 8.2\%$,筛分效果较好。在实际生产中应进一步加强管理,提高操作水平,应当控制细粒级含量与入料水分,尽可能减少细粒级物料与结团物料的产生,及时关注筛机的横梁和筛面的运行情况,电机、曲柄传动机构、弹性连杆、横梁、筛面等关键部件应定期检查、更换,保证设备正常运转,以提高生产效率。

4) TDS 单机检测可知:TDS 分选机的矽石带煤率 1.92%,煤中带矽率 17.99%,排矽率为 86.48%,总错配物含量为 9.60%。智能干选机的矽石带煤率略高于规范参考值,而煤中带矽率明显高于标准值(矽石带煤率(%) 小于 3.0,煤中带矽率(%) 小于 4.0)。因此,需提高对 TDS 分选机的日常维护,及时检查线阵及物料上的异物,严格控制入料水分,建立完善的粉尘过滤及处理系统,以提高 TDS 分选机的分选效率。

参考文献:

- [1] 王双明, 申艳军, 宋世杰, 等. “双碳”目标下煤炭能源地位变化与绿色低碳开发 [J]. 煤炭学报, 2023, 48(7): 2599-2612.
- [2] 秦勇, 易同生, 周永锋, 等. 煤炭地下气化产业政策建设困境与破局对策 [J]. 煤炭学报, 2023, 48(6): 2498-2505.
- [3] 王俊博, 李鑫, 田继军, 等. 煤炭开发利用产业碳足迹计算方法及减排措施综述 [J]. 煤炭学报, 2023, 48(S1): 263-274.
- [4] 桑树勋, 袁亮, 刘世奇, 等. 碳中和地质技术及其煤炭低碳化应用前瞻 [J]. 煤炭学报, 2022, 47(4): 1430-1451.
- [5] 吴文波. 智能干选在选煤厂块煤分选系统改造中的应用分析 [J]. 中国煤炭, 2017, 43(12): 123-126.
- [6] 曹淑艳, 徐勤飞, 张东玮, 等. 煤炭在中国农村生活能源中的利用与退出路径 [J]. 煤炭学报, 2023, 48(7): 2668-2681.
- [7] 胡文, 刘文统, 杨永峰, 等. 梅花井选煤厂末煤分选工艺优化

研究 [J]. 中国煤炭, 2023, 49(8): 80-84.

[8] 曹咸春, 白龙. 选煤厂单机检查采样试验研究 [J]. 洁净煤技术, 2019, 25(S1): 156-160.

[9] 毕明勋. 凉水井煤矿选煤厂原煤分级筛改造研究 [J]. 煤炭工程, 2021, 53(11): 26-29.

[10] 李茂刚. 田庄选煤厂选煤工艺改造研究 [J]. 煤炭工程, 2015, 47(6): 27-29,33.

[11] 李伟. 万利一矿选煤厂技术改造工艺设计 [J]. 煤炭工程, 2023, 55(8): 28-31.

[12] 周月雯. 益门煤矿选煤厂两煤种极细煤分选工艺改造设计 [J]. 煤炭工程, 2014, 46(6): 31-33.

[13] 张惠林. 赵固二矿选煤厂块煤重介再选工艺设计与应用 [J]. 煤炭工程, 2020, 52(7): 53-57.

[14] 白龙, 宋万军, 蒋涵元, 等. 上榆泉煤矿洗选中心密度自动控制系统研发及应用 [J]. 洁净煤技术, 2023, 29(S2): 731-735.

[15] 吕文韬, 蒋涵元, 宋万军, 等. 上榆泉煤矿选煤厂空气压缩机应用效果提升实践 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2023, (5): 24-28.

[16] 白龙, 宋万军, 蒋涵元, 等. 上榆泉煤矿洗选中心自动控制系统设计与应用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2022(10): 39-43.

[17] 蒋涵元, 宋万军, 白龙. 上榆泉煤矿洗选中心粉尘治理实践 [J]. 山东煤炭科技, 2022, 40(7): 122-124.

[18] 白龙, 蒋涵元, 宋万军. 上榆泉煤矿洗选中心原煤配电系统改造实践 [J]. 山东煤炭科技, 2021, 39(10): 151-153, 157,161.

[19] 刘利波, 宋欢, 孙海洋, 等. 黑岱沟煤矿底板煤分选可行性研究 [J]. 洁净煤技术, 2023, 29(S2): 749-757.

[20] 夏云凯, 刘建荣, 王寅林, 等. “双碳”目标下促进干法选煤技术应用研究 [J]. 中国煤炭, 2022, 48(7): 22-26.