

黑岱沟煤矿底板煤分选可行性研究

刘利波¹, 宋欢¹, 孙海洋², 鲍凤亮³

(1. 国能准能集团有限责任公司, 内蒙古鄂尔多斯 017000, 2. 西安唐之广工程技术有限公司, 陕西西安 710000;
3. 鄂尔多斯高新技术产业开发区科技人才局, 内蒙古鄂尔多斯 017000)

摘要:为加强黑岱沟煤矿底板煤的综合利用率, 扩大绿色开采利用规模, 推进煤炭资源的高效提取利用, 降低矸石固废的排放量, 通过煤质特性、筛分、浮沉和转筒泥化试验, 对其分选的可行性进行研究。结果表明, 原煤发热量为 8 685.80 kJ/kg, 属于高灰低硫低热的烟煤。对于粒度级为 50.0~0.5 mm 的原煤, 当要求精煤灰分为 12% 时, 自然级与破碎级综合样品的 $\delta\pm 0.1$ 含量为 32.87%, 原煤可选性等级为难选; 当要求精煤灰分为 20% 时, 自然级与破碎级综合样品的 $\delta\pm 0.1$ 含量为 41.08%, 原煤可选性等级为极难选。对于粒度级为 <0.5 mm 的原煤, 将精煤灰分以 20% 作为参考, 自然级与破碎级综合样品的 $\delta\pm 0.1$ 含量为 35.96%, 原煤可选性等级为难选。当精煤灰分为 12% 时, 分别使用三产品重介旋流器和重介浅槽分选, 可得精煤产率为 5.31% 和 2.56%, 中煤产率为 21.74%。为提高精煤产率, 将精煤灰分限定在 20% 时, 同样使用三产品重介旋流器和重介浅槽分选, 可得精煤产率为 14.39% 和 6.98%, 中煤产率为 11.74%。将对黑岱沟底板煤的分选利用提供指导, 对其他高含碳量煤矸石的分选提炭提供参考。

关键词:底板煤; 可选性; 精煤; 分选方案; 重介旋流器; 重介浅槽分选机

中图分类号: TD94 文献标志码: A 文章编号: 1006-6772(2023)S2-0749-09

Feasibility of separation of bottom coal of Haidaigou coal mine

LIU Libo¹, SONG Huan¹, SUN Haiyang², BAO Fengliang³

(1. China Energy Zhunneng Group Co., Ltd., Ordos 017000, China; 2. Xi'an Grand Tang Engineering Technology Co., Ltd., Xi'an 710000, China;
3. Science and Technology Talent Bureau of Ordos High Tech Industrial Development Zone, Ordos 017000, China)

Abstract: In order to improve the comprehensive utilization rate of the bottom coal of Haidaigou coal mine, expand the utilization rate of green mining, promote the efficient extraction and utilization of coal resources, and reduce the discharge of gangue solid waste, the feasibility of its sorting was studied by means of coal quality characteristics, screening, flotation and sedimentation and rotary mudification experiments. The results indicate that the calorific value of the raw coal is 8 685.80 kJ/kg, which is a bituminous coal with high ash, low sulfur and low heat. For the raw coal of size class 50.0-0.5 mm, when the ash content of clean coal is required to be 12%, the $\delta\pm 0.1$ content of the combined natural and crushed grade is 32.87%, and the optional grade of raw coal is difficult to be separated. When the ash content of clean coal is required to be 20%, the $\delta\pm 0.1$ content of the combined natural and crushed grade is 41.08%, and the raw coal selectability grade is extremely difficult to be separated. For the raw coal of <0.5 mm size class, when the ash content of the clean coal is set at 20%, the $\delta\pm 0.1$ content of the combined natural and crushed grade is 35.96%, and the raw coal selectability grade is difficult to be separated. When the ash requirement of the clean coal is 12%, using three-product dense medium cyclone sorting and heavy media shallow slot sorter respectively, the yield of clean coal can be obtained as 5.31% and 2.56%, and the yield of medium coal is 21.74%. This study will provide guidance for the sorting and utilization of Haidaigou bottom coal, and provide important reference for the sorting and carbon extraction of other coal gangue with high carbon content.

Key words: bottom coal; washability; clean coal; scheme of separation; dense medium cyclone; heavy medium shallow slot separator

收稿日期: 2022-11-17; 责任编辑: 张鑫 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.22111702

作者简介: 刘利波(1985—), 男, 内蒙古赤峰人, 高级工程师。E-mail: 290082469@qq.com

通讯作者: 宋欢(1987—), 男, 内蒙古巴彦淖尔人, 高级工程师。E-mail: 124175466@qq.com

引用格式: 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.

LIU Libo, SONG Huan, SUN Haiyang, et al. Feasibility of separation of bottom coal of Haidaigou coal mine[J]. Clean Coal Technology, 2023, 29(S2): 749-757.

0 引言

能源安全是我国国家安全的重要组成部分^[1],具有兜底保障作用的煤炭资源已成为我国能源安全的压舱石和稳定器^[2]。我国煤炭的煤质一般具有高灰分和硫分的特性^[3-4],因此煤炭的分选加工和清洁高效利用成为国家能源体系的重要一环,是我国“十四五”规划的重要发展方向^[5]。煤炭分选加工可有效脱除煤中所含有的大部分灰分及硫分等有害杂质^[6-8],是煤炭清洁高效利用的重要环节^[9-11],是煤炭作为清洁燃料、优质化工原料和炭材料前驱体的基础^[12],对实现双碳经济发展具有重大意义。

黑岱沟露天煤矿年产原煤量可达 3 400 Mt^[13],在煤炭过程中产生大量底板煤。目前,对底板煤是用煤矸石的处理方法来处理,而底板煤的煤含量高于煤矸石,造成严重的煤资源浪费,随着国家对煤炭资源综合利用和绿色开采以及环境保护的要求越来越高^[14-15],底板煤的分选利用已迫在眉睫。为扩大黑岱沟煤炭的绿色开采规模,提高煤炭资源利用率,通过煤质特性、筛分、浮沉和转筒泥化试验,对煤的可选性进行研究,并对分选方案进行了分析,提出分选方案。研究表明,底板煤属于高灰低硫低热的烟煤,发热量为 8 685.80 kJ/kg,具有一定分选价值。

表 1 原煤工业分析和元素分析

工业分析/%			元素分析%							$Q_{b,ad}/$
M_{ad}	A_d	V_{daf}	$S_{t,d}$	C_{daf}	O_{daf}	H_{daf}	N_{daf}	$S_{t,d}$	Si	(kJ·kg ⁻¹)
2.39	56.80	15.89	0.26	22.83	43.81	3.98	0.88	0.26	28.09	8 685.80

2.2 原煤筛分和浮沉试验

根据 GB/T 477—2008《煤炭浮沉试验方法》对黑岱沟底板煤进行自然级>200、200~100、100~50、50~25、25~13、13~6、6~3、3~1、1.0~0.5、<0.5 mm 和破碎级 50~25、25~13、13~6、6~3、3~1、1.0~0.5、<0.5 mm 筛分试验,见表 2、3。由表 2 可知,>50 mm 的原煤合计灰分达到 73.39%,其中>200 mm 的原煤灰分最高,为 83.36%,100~50 mm 的原煤灰分最低,为 68.16%,因此大块原煤产品矸石含量较高;在<50 mm 各粒度级的原煤中,50~25 mm 的原煤灰分最高,为 58.87%,0.5~0 mm 的原煤灰分最低,为 45.34%,因此<50 mm 的原煤矸石含量相对较高;<50 mm 原煤各粒度级的灰分随粒度减小而降低,煤质较脆且易碎。

对>50 mm 原煤取样 300 kg,并将煤样破碎,然后对破碎级进行筛分试验,得到原煤破碎级筛分试验结果见表 3。由表 3 可知,破碎后 50~25 mm 原煤产率

不同粒度级的原煤可选性等级为难选或极难选,按照对精煤灰分或发热量的不同要求,可采用三产品重介旋流器或重介浅槽分选机进行分选。

1 煤样来源

为保证煤样的代表性,按 GB/T 482—2008《煤层煤样采取方法》采样,保证所采集煤样具有代表性和数据分析的准确性。利用黑岱沟露天煤矿煤炭开采特点,在矿区非作业时间将矿区北部煤沟底板煤成堆放置,采取煤样时先利用装载机多次翻堆混匀并缩分,采集具有良好代表性的样品 10 t 左右。

2 试验

2.1 原煤总样分析

按照 GB/T 212—2008《煤的工业分析方法》和 GB/T 213—2008《煤的发热量测定方法》的规定,对原煤总样分别进行筛分、缩分、制样并进行工业分析。按照 GB/T 30733—2014《煤中碳氢氮的测定仪器法》、GB/T 214—2007《煤中全硫的测定》和 GB/T 215—2003《煤中各种形态硫的测定方法》的规定,对黑岱沟原煤煤样总样进行元素分析,结果见表 1。由表 1 可知底板煤属于高灰低硫低热烟煤。

表 2 原煤自然级筛分试验

粒度级/mm	产物	质量/kg	产率/%	灰分/%
>200	夹矸煤	351.40	3.70	83.36
200~100	夹矸煤	503.50	5.31	77.93
100~50	夹矸煤	1 106.90	11.66	68.16
>50 合计		1 961.80	20.67	73.39
50~25	煤	1 265.24	13.33	58.87
25~13	煤	1 262.53	13.30	58.28
13~6	煤	1 072.88	11.30	52.51
6~3	煤	1 219.18	12.85	55.02
3~1	煤	628.56	6.62	48.35
1.0~0.5	煤	555.72	5.86	45.72
0.5~0	煤	1 525.01	16.07	45.34
50~0 合计		7 529.12	79.33	52.65
总计		9 490.92	100	56.94

最高,占本级 76.18%,灰分为 73.55%,因此>50 mm

表3 原煤破碎级筛分试验

粒度级/mm	M/kg	Γ /%	γ /%	A_d /%
50~25	228.55	76.18	15.75	73.55
25~13	36.35	12.12	2.50	71.36
13~6	14.55	4.85	1.00	70.68
6~3	9.10	3.03	0.63	66.24
3~1	3.45	1.15	0.24	75.66
1.0~0.5	2.90	0.97	0.20	74.82
<0.5	5.10	1.70	0.35	58.07
合计	300	100	20.67	72.69

注: M 、 Γ 、 γ 、 A_d 分别为质量、占本级、占全样、灰分。

原煤硬度大、不易破碎;总体而言,随粒度级减小,产率降低,但<0.5 mm 原煤产率较高,占本级产率为1.70%;总体灰分72.69%与原煤筛分表中>50 mm 合计灰分相差0.7%<2.0%,误差较小,因此取样均匀。综合表2、3可知,自然级占全样79.33%,灰分52.65%,破碎级占全样20.67%,灰分72.69%,自然级占全样较多;自然级中<0.5 mm 粒度级原煤占全样16.07%,在各粒度级中最高。

对自然级和破碎级综合煤样50.0~0.5 mm 粒度级进行浮沉试验,并对不同密度级别分别进行发热量测定见表4,可知发热量为20 929.26 kJ/kg 以上时,分选密度级在 -1.5 g/cm^3 ,且占本级累积产率15.5%;发热量为8 371.70~20 929.26 kJ/kg 时,分选密度级在 $-1.5 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$,且占本级累积产率12.63%。

表4 原煤自然级与破碎级综合浮沉样品的发热量

密度级/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	自然级与破碎级综合			
	Γ /%	γ /%	A_d /%	$Q_{b,ad}/(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
<1.3	6.30	4.99	10.87	25 764.830
1.3~1.4	5.49	4.35	18.64	21 922.082
1.4~1.5	7.78	6.16	23.73	20 632.794
1.5~1.6	7.07	5.60	29.57	13 508.222
1.6~1.7	5.56	4.41	33.69	8 786.414
1.7~1.8	4.31	3.42	40.76	5 902.260
>1.8	63.49	50.29	77.35	2 595.320

根据自然级与破碎级50.0~0.5 mm 粒度级综合煤炭浮沉试验结果绘制自然级与破碎级综合可选性曲线,如图1所示。当精煤质量要求灰分为12%时,精煤产率为8%;其中尾煤产率92%、灰分63%;边界灰分18%、分选密度 1.34 g/cm^3 、临近物产率12%,结合表4,此时发热量约在25 115.11 kJ/kg。当矸石灰分为75%时,矸石产率为67%,中煤产率为25%,中煤灰分为28.68%,理论分选密度为

1.69 kg/L,而根据图1确定实际分选密度为1.75 kg/L。

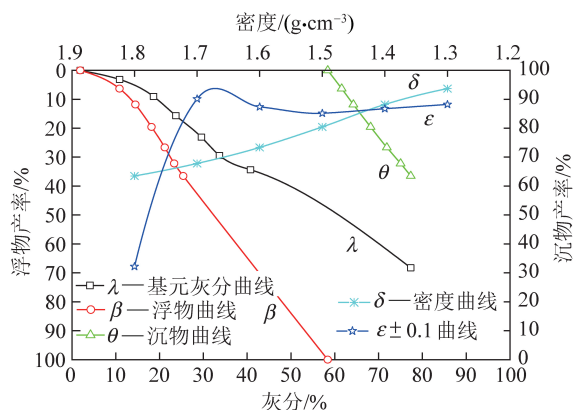


图1 原煤50.0~0.5 mm 可选性曲线

当精煤质量要求灰分为20%时,由图1可知,精煤产率23%、尾煤产率77%、灰分70%、边界灰分为30%、分选密度 1.55 g/cm^3 、临近物产率15%;结合表4,此时发热量约在20 929.26 kJ/kg。同时,发热量大于8 371.70 kJ/kg 以上的煤样产率为32.2%,其中20 929.26 kJ/kg 以上的煤样约占10%。当矸石灰分为75%时,矸石产率为67%。中煤产率为10%,中煤灰分为35.3%,理论分选密度为1.69 kg/L,而根据图1确定实际分选密度为1.75 kg/L。

按照市场精煤质量要求,首先在精煤灰分为12%时,对原煤可选性进行评定。由于煤样总体灰分高,且高密度产物占比大,故将精煤质量定为灰分20%作为参考,进一步评价原煤可选性。

要求精煤灰分为12%时,自然级 $\delta \pm 0.1$ 含量为26.02%,原煤可选性等级为较难选;破碎级 $\delta \pm 0.1$ 含量为34%,原煤可选性等级为难选;自然级与破碎级综合 $\delta \pm 0.1$ 含量32.87%,原煤可选性等级为难选。

当要求精煤灰分为20%时,自然级 $\delta \pm 0.1$ 含量为33.11%,原煤可选性等级为难选;破碎级 $\delta \pm 0.1$ 含量为57.41%,原煤可选性等级为极难选;自然级与破碎级综合 $\delta \pm 0.1$ 含量为41.08%,原煤可选性等级为极难选。

2.3 <0.5 mm 筛分和浮沉试验

按照国标对黑岱沟底板煤自然级与破碎级中<0.5 mm 粒度级取样,并进行小筛分、小浮沉试验,得自然级与破碎级筛分试验综合表和校正表,见表5、6。由表5可知,自然级与破碎级中产率随粒度级的降低而减小;自然级与破碎级中最大粒度级0.25~0.50 mm 占本级产率超50%;自然级与破碎级灰分分别为44.36%、61.29%,自然级灰分较低。由表6可知,自然级与破碎级产率随密度级分布规律

性不明显,其中 $>1.8\text{ g/cm}^3$ 的煤产率最高,分别为 27.11%、54.03%。

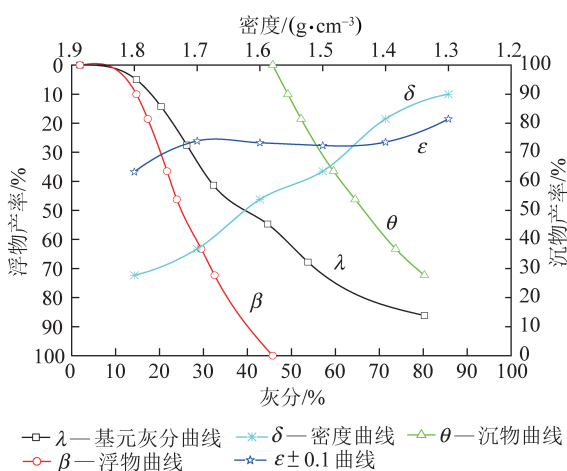
表5 $<0.5\text{ mm}$ 自然级与破碎级筛分试验综合

粒度级/mm	自然级($\gamma=16.07\%$)			破碎级($\gamma=0.35\%$)			综合校正($\gamma=16.42\%$)		
	$\Gamma/\%$	$\gamma/\%$	$A_d/\%$	$\Gamma/\%$	$\gamma/\%$	$A_d/\%$	$\gamma/\%$	$A_d/\%$	A_d 校正/ $\%$
0.25~0.50	50.29	8.08	42.63	51.55	0.18	62.18	8.26	43.06	44.10
0.125~0.250	26.50	4.26	46.10	26.64	0.09	62.05	4.35	46.45	47.48
0.075~0.125	9.93	1.60	46.87	11.49	0.04	57.91	1.64	47.14	48.18
0.045~0.075	11.67	1.88	45.48	9.18	0.03	58.54	1.91	45.70	46.74
0.045~0	1.62	0.26	46.05	1.14	0	59.28	0.26	46.25	47.28
合计	100	16.07	44.36	100	0.35	61.29	16.42	44.72	45.76

表6 $<0.5\text{ mm}$ 自然级与破碎级浮沉试验校正综合

密度级/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	自然级			破碎级			综合校正			
	$\Gamma/\%$	$\gamma/\%$	$A_d/\%$	$\Gamma/\%$	$\gamma/\%$	$A_d/\%$	$\Gamma/\%$	$\gamma/\%$	$A_d/\%$	A_d 校正/ $\%$
<1.3	10.04	1.61	14.45	8.94	0.03	13.56	10.01	1.64	14.62	14.76
1.3~1.4	8.42	1.35	19.99	13.31	0.05	21.47	8.52	1.40	20.23	20.37
1.4~1.5	18.22	2.93	25.88	7.00	0.02	28.65	17.98	2.95	26.09	26.23
1.5~1.6	9.80	1.58	31.93	4.49	0.02	32.46	9.69	1.59	32.13	32.27
1.6~1.7	17.21	2.76	44.32	9.67	0.03	41.62	17.05	2.80	44.48	44.62
1.7~1.8	9.20	1.48	53.47	2.56	0.01	50.52	9.06	1.49	53.64	53.79
>1.8	27.11	4.36	79.78	54.03	0.19	83.48	27.69	4.55	80.12	80.26
总计	100	16.07	45.15	100	0.35	57.95	100	16.42	45.62	45.76

根据自然级与破碎级 $<0.5\text{ mm}$ 粒度级综合煤炭浮沉试验结果绘制 $<0.5\text{ mm}$ 可选性曲线,如图2所示。

图2 原煤 $<0.5\text{ mm}$ 可选性曲线

由于煤样总体灰分高,且高密度产物占比大,为提高精煤质量,将精煤灰分定为20%作为参考,评定可选性。当精煤灰分为20%时,自然级与破碎级综合 $\delta\pm 0.1$ 含量为35.96%,原煤可选性等级为难选。

2.4 转筒泥化试验

将粒级为 $50.0\sim 0.5\text{ mm}$ 的原煤自然级与破碎级按照比例配制为综合级。取样,并凉至空气干燥状态。根据GB/T 26918—2011《选煤厂煤的转筒泥化试验方法》进行转筒泥化试验,结果见表7。翻转时间-次生煤泥灰分和产率关系如图3所示。由表7和图3可知,次生煤泥产率约在5%左右,尤其是粒度在 $0.500\sim 0.045\text{ mm}$ 细粒煤占比较高,该粒度区间在选煤过程中必须着重考虑,避免细颗粒煤泥对选煤效率的影响;结合可选性分析可知,该煤可采取重介质分选工艺进行分选,产生煤泥不可避免,该理论值为选前脱泥等提供较好指导。

表7 原煤转筒泥化试验

翻转时间/min	产率/ $\%$				灰分/ $\%$		
	$>3\text{ mm}$	3.0~0.5 mm	0.500~0.045 mm	$<0.045\text{ mm}$	0.500~0.045 mm	$<0.045\text{ mm}$	次生煤泥
15	87.22	8.63	2.89	1.26	59.87	65.54	61.59
25	85.19	9.82	3.54	1.45	61.75	66.58	63.15
35	83.87	10.68	3.63	1.82	62.1	74.25	66.16
45	81.69	12.78	3.46	2.07	60.13	76.49	66.25

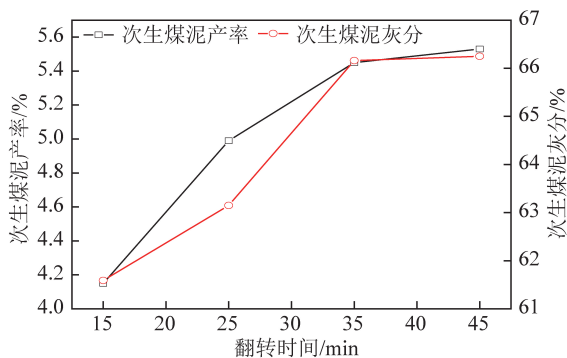


图3 翻转时间-次生煤泥灰分和产率关系

2.5 分选方案

根据对原煤自然级和破碎级浮沉资料的校正和综合,可知 0.5~50.0 mm 各粒度级边界灰分与分选密度关系,如图 4 所示。由图 4 可知,随粒度减小,原煤中不同粒度物料的边界灰分与密度之间的关系不适合分级入选。

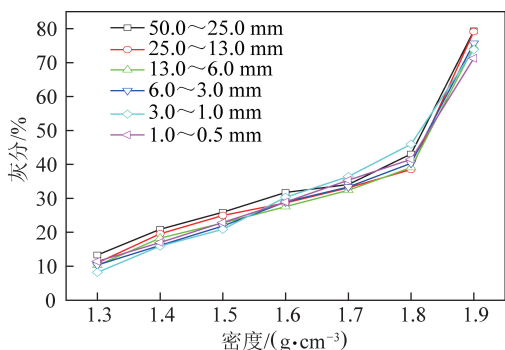


图4 0.5~50.0 mm 各粒度级边界灰分与分选密度关系

当精煤灰分要求为 12%时属于难选,精煤灰分要求为 20%时属于极难选,采用传统跳汰法难以对煤样分选,因此考虑采用分选精度较高的三产品重介器^[16]或浅槽重介质分选机^[17]对原煤进行分选。同时,根据国内外分选设备的粒度限制,应满足设备的粒度要求^[18]。对于三产品重介质旋流器,入料粒度应保持在 50 或 80 mm 以下^[19-21];对于浅槽重介质分选机,入料粒度应保持在 6 或 13 mm 以上^[22-23]。

2.5.1 三产品重介质旋流器分选方案分析

当精煤灰分要求为 12%时,实际分选密度为 1.30、1.75 g/cm³。根据《选煤厂工艺设计与建设》,选取三产品重介质旋流器分选可能偏差 E 取 0.04、0.06,计算得三产品重介质旋流器分选各段分配律综合表,见表 8。根据求得的分配律计算出设计产品指标,见表 9。次生煤泥量取 5%,得三产品重介质旋流器分选设计平衡表,见表 10。

表 8 三产品重介质旋流器分选各段分配律综合

平均密度/ (g · cm ⁻³)	一段主选		二段再选	
	可能偏差 0.04		可能偏差 0.06	
	t	$\varepsilon/\%$	t	$\varepsilon/\%$
1.20	-1.69	4.58	-6.19	0
1.35	0.84	80.06	-4.50	0
1.45	2.53	99.43	-3.38	0.04
1.55	4.22	100	-2.25	1.22
1.65	5.91	100	-1.13	13.03
1.75	7.59	100	0	50.00
1.90	10.13	100	1.69	95.42

表 9 设计指标计算

密度级/(kg · L ⁻¹)	入料			精煤			中煤		矸石	
	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\varepsilon/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\varepsilon/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$
<1.3	6.30	10.87	4.58	6.01	10.87	0	0	10.87	0.29	10.87
1.3~1.4	5.49	18.64	80.06	1.09	18.64	0	0	18.64	4.39	18.64
1.4~1.5	7.78	23.73	99.43	0.04	23.73	0.04	0	23.73	7.73	23.73
1.5~1.6	7.07	29.57	100	0	29.57	1.22	0.09	29.57	6.98	29.57
1.6~1.7	5.56	33.69	100	0	33.69	13.03	0.72	33.69	4.84	33.69
1.7~1.8	4.31	40.76	100	0	40.76	50.00	2.16	40.76	2.16	40.76
>1.8	63.49	77.35	100	0	77.35	95.42	60.58	77.35	2.90	77.35
合计	100	58.38	—	7.15	12.13	—	63.55	75.54	29.29	32.44

当精煤灰分要求为 20%时,实际分选密度为 1.50、1.75 g/cm³。根据《选煤厂工艺设计与建设》,选取三产品重介质旋流器分选可能偏差 E 取 0.04、

0.06,计算得三产品重介质旋流器分选各段分配律综合表,见表 11。根据求得的分配律计算出设计产品指标,见表 12。次生煤泥量取 5%,得三产品重介

表 10 三产品重介质旋流器分选设计平衡

产品名称	产率		$A_d/\%$
	$\Gamma/\%$	$\gamma/\%$	
精煤	7.15	5.31	12.13
中煤	29.29	21.74	32.44
矸石	63.55	47.17	75.54
小计	100	74.22	58.38
浮沉煤泥	5.22	4.36	70.07
合计	100	78.58	59.03
原生煤泥		16.42	45.76
次生煤泥		5.00	58.38
总计		100	56.82

质旋流器分选设计平衡表,见表 13。

表 11 三产品重介质旋流器分选各段分配律综合

平均密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	一段主选 可能偏差 0.04		二段再选 可能偏差 0.06	
	t	$\varepsilon/\%$	t	$\varepsilon/\%$
	1.20	-4.05	0	-7.43
1.35	-2.03	2.14	-5.40	0
1.45	-0.68	24.98	-4.05	0
1.55	0.68	75.02	-2.70	0.35
1.65	2.03	97.86	-1.35	8.85
1.75	3.38	99.96	0	50.00
1.90	5.40	100	2.03	97.86

表 12 设计指标计算

密度级/($kg \cdot L^{-1}$)	入料			精煤			中煤		矸石	
	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\varepsilon/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\varepsilon/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$
<1.3	6.30	10.87	0	6.30	10.87	0	0	10.87	0	10.87
1.3~1.4	5.49	18.64	2.14	5.37	18.64	0	0.12	18.64	0	18.64
1.4~1.5	7.78	23.73	24.98	5.83	23.73	0	1.94	23.73	0	23.73
1.5~1.6	7.07	29.57	75.02	1.77	29.57	0.35	5.29	29.57	0.02	29.57
1.6~1.7	5.56	33.69	97.86	0.12	33.69	8.85	4.96	33.69	0.48	33.69
1.7~1.8	4.31	40.76	99.96	0	40.76	50.00	2.16	40.76	2.16	40.76
>1.8	63.49	77.35	100	0	77.35	97.86	1.36	77.35	62.13	77.35
合计	100	58.38	—	19.39	18.73	—	15.82	35.69	64.78	75.79

表 13 三产品重介质旋流器分选设计平衡

产品名称	产率		$A_d/\%$
	$\Gamma/\%$	$\gamma/\%$	
精煤	19.39	14.39	18.73
中煤	15.82	11.74	35.69
矸石	64.78	48.08	75.79
小计	100	74.22	58.38
浮沉煤泥	5.22	4.36	70.07
合计	100	78.58	59.03
原生煤泥		16.42	45.76
次生煤泥		5.00	58.38
总计		100	56.82

2.5.2 浅槽重介质分选机分选方案分析

当精煤灰分要求为 12% 时,实际分选密度为 $1.30 g/cm^3$ 。根据《选煤厂工艺设计与建设》,选取浅槽重介质分选机分选可能偏差 E 取 0.03,计算可得浅槽重介质分选机分选分配律综合(表 14)、设计指标计算(表 15)、次生煤泥量取 5%,浅槽重介质分

选机分选设计平衡(表 16)。

表 14 浅槽重介质分选机分选分配律综合($E=0.03$)

平均密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	t	$\varepsilon/\%$
1.20	-2.25	1.22
1.35	1.13	86.97
1.45	3.38	99.96
1.55	5.63	100
1.65	7.88	100
1.75	10.13	100
1.90	13.50	100

当精煤灰分要求为 20% 时,实际分选密度为 $1.46 g/cm^3$ 。根据《选煤厂工艺设计与建设》,选取浅槽重介质分选机分选可能偏差 E 取 0.03,计算得浅槽重介质分选机分选分配律综合表(表 17)、设计指标计算表(表 18)、浅槽重介质分选机分选设计平衡表(表 19)。

综合上述 2 种方案所得数据,三产品重介质旋流器分选与浅槽重介质分选机分选相比:浅槽重介

表 15 设计指标计算

密度级/(kg·L ⁻¹)	入料			矸石		精煤	
	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\varepsilon/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$
<1.3	4.36	11.67	1.22	0.05	11.67	4.31	11.67
1.3~1.4	5.09	19.85	86.97	4.43	19.85	0.66	19.85
1.4~1.5	6.83	24.84	99.96	6.82	24.84	0	24.84
1.5~1.6	5.70	29.74	100	5.70	29.74	0	29.74
1.6~1.7	4.82	33.19	100	4.82	33.19	0	33.19
1.7~1.8	3.58	40.01	100	3.58	40.01	0	40.01
>1.8	69.62	78.37	100	69.62	78.37	0	78.37
合计	100	62.50	—	95.02	65.10	4.98	12.77

表 16 浅槽重介质分选机分选设计平衡

产品名称	产率		$A_d/\%$
	$\Gamma/\%$	$\gamma/\%$	
精煤	5.17	2.56	12.77
矸石	94.83	46.97	64.55
小计	100	49.53	61.88
浮沉煤泥	4.65	2.66	73.47
合计	100	52.19	62.47
原生煤泥		0	0
次生煤泥		5.00	61.88
总计		57.19	62.41

表 17 浅槽重介质分选机分选分配律综合

平均密度/ (g·cm ⁻³)	$E=0.03$	
	t	$\varepsilon/\%$
1.20	-5.85	0.00
1.35	-2.48	0.67
1.45	-0.23	41.10
1.55	2.03	97.86
1.65	4.28	100
1.75	6.53	100
1.90	9.90	100

表 18 设计指标计算

密度级/(kg·L ⁻¹)	入料			矸石		精煤	
	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\varepsilon/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$	$\Gamma/\%$	$A_d/\%$
<1.3	4.54	11.67	0	0	11.67	4.54	11.67
1.3~1.4	5.29	19.85	0.67	0.04	19.85	5.26	19.85
1.4~1.5	7.10	24.84	41.10	2.92	24.84	4.18	24.84
1.5~1.6	5.92	29.74	97.86	5.80	29.74	0.13	29.74
1.6~1.7	5.01	33.19	100	5.01	33.19	0	33.19
1.7~1.8	3.72	40.01	100	3.72	40.01	0	40.01
>1.8	68.42	78.37	100	68.42	78.37	0	78.37
合计	100	61.88	—	85.90	68.95	14.10	18.79

分选煤炭受入料粒度影响较大,仅能处理 6 mm 或者 13 mm 以上的原煤,需对原煤通过筛分设备进行分级入选,使分选工艺变得复杂;且原煤中的细粒煤无法通过浅槽进行分选,造成原煤中的精煤损失;2 种方案具体精煤指标相对而言,三产品重介质分选机在灰分为 12%、20% 的情况下,其精煤产率指标分别为 5.31%、14.39%,重介浅槽在同样灰分取值情况下,其精煤产率指标分别为 2.56%、6.98%,浅槽分选得到的精煤指标更低,2 种方案产品精煤灰分

相近。

2.5.3 主选工艺与选前是否脱泥的分析

三产品重介质的入料方式包括有压给料和无压给料两种,各有利弊,虽然无压给料与有压给料相比,分选精度稍微差一点,但无压给料的优点更加突出:无压三产品旋流器是由中心给料,在这种情况下只有重产物单向运动,有效避免了有压给料所产生中轻重产物交错运动的相互干扰弊端;无压给料不需要泵,可降低生产的能耗;采用无压给料,工艺环

表19 浅槽重介质分选机分选设计平衡

产品名称	产率		$A_d/\%$
	$\Gamma/\%$	$\gamma/\%$	
精煤	14.10	6.98	18.79
矸石	85.90	42.55	68.95
小计	100	49.53	61.88
浮沉煤泥	4.65	2.66	73.47
合计	100	52.19	62.47
原生煤泥		0	0
次生煤泥		5.00	61.88
总计		57.19	62.41

节布局简单,管理方便。综合考虑,最终确定无压给料的三产品重介质旋流器。

确定采用无压入料的情况下,选前一般不脱泥。此外,可再进一步判断。若在选前增加脱泥工艺环节,则使分选流程及工艺布置变复杂;若在选前增加脱泥工艺环节,无法发挥重介质旋流器分选下限低的优势;处理脱下来的煤泥有一定难度,不仅增大了浮选作业处理量和难度,还会增加生产成本,更会导致精煤损失增加。但是无压给料与不脱泥入选配合可简单有效解决粗煤泥分选问题。根据表10、13可知,各煤泥总和占入选原煤量明显低于煤泥含量最大允许值,综合考虑以上情况,确定入选前不再布置脱泥作业。

2.5.4 分选方案建议

根据原煤煤质资料综合分析,确定原煤具有一定分选价值。建议的可选方案为:

1) 难选煤可采用较为成熟的三产品重介质旋流器分选方式进行精煤的分选。同样选取重介浅槽分选机分选原煤能够得到一定产率的精煤,且灰分可满足市场要求。

2) 根据质量要求,精煤灰分要求12%时,分别使用三产品重介质旋流器分选、重介浅槽分选可得精煤产率5.31%、2.56%,中煤产率21.74%(灰分32.44%),据原煤煤年产量和当地销售价格可推断盈利情况。

3) 为提高精煤产率,在精煤灰分稍高且有销售出路的情况下,将精煤灰分限定在20%时,同样使用三产品重介质旋流器分选、重介浅槽分选,可得精煤产率为14.39%、6.98%,中煤产率为11.74%(灰分为35.69%)。

4) 从发热量数据分析,原煤在发热量为20 929.26 kJ/kg以上时,占本级产率为10%左右,原煤在8 371.70~20 929.26 kJ/kg,占本级产率占

22%左右,根据发热量范围针对性销售。

3 结 论

1) 对黑岱沟底板煤原煤煤质特性进行分析,原煤的发热量为8 685.80 kJ/kg,属于高灰低硫低热的烟煤。

2) 对黑岱沟底板煤原煤和-0.5 mm进行筛分和浮沉试验,研究底板煤的可选性。对于50.0~0.5 mm原煤,当要求精煤灰分为12%时,自然级与破碎级综合 $\delta\pm 0.1$ 含量为32.87%,原煤可选性等级为难选;当要求精煤灰分为20%时,自然级与破碎级综合 $\delta\pm 0.1$ 含量为41.08%,原煤可选性等级为极难选。对于-0.5 mm的原煤,总体灰分高,且高密度产物占比大,为提高精煤质量,将精煤灰分定为20%作为参考,自然级与破碎级综合 $\delta\pm 0.1$ 含量为35.96%,原煤可选性等级为难选。

3) 黑岱沟底板煤为难选煤,可采用较成熟的三产品重介旋流器分选方式或重介浅槽分选机进行精煤的分选。精煤灰分要求为12%时,分别使用三产品重介旋流器分选、重介浅槽分选可得精煤产率为5.31%、2.56%,中煤产率为21.74%(灰分为32.44%);为提高精煤产率,将精煤灰分限定在20%时,同样使用三产品重介旋流器分选、重介浅槽分选,可得精煤产率为14.39%、6.98%,中煤产率为11.74%(灰分为35.69%)。

参考文献:

- [1] 冯玉军. 国际能源大变局下的中国能源安全[J]. 国际经济评论, 2022(1): 1-15.
- [2] 赵跃民, 张亚东, 周恩来, 等. 清洁高效干法选煤研究进展与展望[J]. 中国矿业大学学报, 2022, 51(3): 607-616.
- [3] 曹代勇, 赵峰华. 重视我国优质煤炭资源特性的研究[J]. 中国矿业, 2003(10): 22-24.
- [4] KONG L, BAI J, LI H, et al. The mineral evolution during coal washing and its effect on ash fusion characteristics of Shanxi high ash coals[J]. Fuel, 2018, 212: 268-273.
- [5] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[R/OL]. 人民日报(2021-03-13)[2022-10-11]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/202103/t20210323_1270124.html.
- [6] TANG X, SNOWDEN S, MCLELLAN B C, et al. Clean coal use in China: Challenges and policy implications[J]. Energy Policy, 2015, 87: 517-523.
- [7] YU X, LUO Z, GAN D, et al. Upgrading of lignite using a combined novel drying and the FGX dry separation process[J]. International Journal of Coal Preparation, 2021, 41(5): 343-361.
- [8] MOHEBALI S, MAGHSOUDY S, ARDEJANI F D. Application of data envelopment analysis in environmental impact assessment of a

- coal washing plant: A new sustainable approach [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2020, 83: 106389.
- [9] 吴朝荡,苑金朝,叶树强,等. 双碳目标下的选煤技术研究与推广应用 [J]. *煤炭加工与综合利用*, 2022(8): 1-5, 11.
- [10] DIKICI A, HACIFAZLIOGLU H. Production of super clean coal (SCC) from coal fines with organic reagents [J]. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 2022, 42(4): 1033-1039.
- [11] GULCAN E, GULSOY O, ÇELIK B, et al. Investigation of dry coal beneficiation with optical sorter [C]//*Proceedings of the XVIII International Coal Preparation Congress*. Germany: Springer International Publishing, 2016.
- [12] SRIRAMOJU S K, DASH P S, MAJUMDAR S. Extraction of clean coal from washery rejects and its effect on coking properties: An approach toward sustainable development [J]. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 2022, 42(11): 3325-3347.
- [13] 刘利波,宋欢. 国能准能集团打造“准混”商品煤品牌路径研究 [J]. *中国煤炭*, 2022, 48(7): 58-63.
- [14] 闵凡飞,陈军,沈亮,等. 高灰煤泥资源化利用途径及研究现状 [J]. *选煤技术*, 2021(1): 33-38.
- [15] BAI X F, DING H, LIAN J J, et al. Coal production in China: Past, present, and future projections [J]. *International Geology Review*, 2018, 60(5/6): 535-547.
- [16] 穆斌. 重介质旋流器在选煤中的应用 [J]. *能源与节能*, 2022(9): 169-171.
- [17] 黄波,王子源,周毛毛,等. 重介质浅槽分选机流场及临界分选粒度研究 [J]. *煤炭工程*, 2022, 54(1): 160-164.
- [18] 田延锋. 榆家梁选煤厂 4⁻³煤分选可行性分析 [J]. *洁净煤技术*, 2018, 24(S2): 68-73.
- [19] 樊民强,田蕾,董连平,等. 粒度对重介旋流器分选效果影响的量化解析 [J]. *煤炭学报*, 2023, 48(1): 460-469.
- [20] BAHRAMI A, GHORBANI Y, MIRMOHAMMADI M, et al. The beneficiation of tailing of coal preparation plant by heavy-medium cyclone [J]. *International Journal of Coal Science Technology*, 2018, 5(3): 374-384.
- [21] PURAL Y E, SIRKECI A A, BOYLU F, et al. Simulation and performance evaluation of three product dense medium cyclone [J]. *International Journal of Coal Preparation*, 2022: 1-14.
- [22] 张立文,李国丰,周恩会,等. 末煤浅槽分选下限多因素分析及试验研究 [J]. *中国粉体技术*, 2018, 24(5): 61-65.
- [23] LIU J, YANG H, YUAN M, et al. Product specification and economic benefit maximization prediction model of a coal preparation plant in Datong, Shanxi [J]. *International Journal of Coal Preparation*, 2022(6): 1-21.