

文章编号: 1001-3571(2019)04-0034-06

超级重介质旋流器在淮北矿业的应用

黄海峰¹, 黄建宇¹, 欧战备¹, 吴朝荡², 于一栋³

(1. 淮北矿业股份有限公司煤炭运销分公司, 安徽 淮北 235000;

2. 北京国华科技集团有限公司, 北京 101300; 3. 唐山国华科技工程有限公司, 河北 唐山 063020)

摘要: 为进一步提高原煤重介质旋流器的入料上限, 并解决设备台时处理量受原煤矸石含量影响较大的实际问题, 淮北矿业临涣选煤厂西区选煤车间1[#]系统采用1台S-3GHMC870/410型超级重介质旋流器替代原有的2台3GDMC1300/920A型无压给料三产品重介质旋流器。工业性试验表明, 超级重介质旋流器不仅具有分选精度高、分选下限低、处理能力大、排矸能力大、节电效果明显等优点, 同时大大简化了现有工艺系统。该设备在临涣选煤厂的成功应用证明了其工业化应用潜力和推广应用前景, 并在临涣选煤厂2[#]与3[#]系统、涡北选煤厂、祁南选煤厂改造中进行了借鉴推广。

关键词: 超级重介质旋流器; 无压三产品重介质旋流器; 可能偏差; 数量效率

中图分类号: TD455+.7; TD942

文献标志码: B

Application of the ultrahigh-capacity heavy medium cyclone at Huaibei Mining Company

HUANG Haifeng¹, HUANG Jianyu¹, OU Zhanbei¹, WU Chaodang², YU Yidong³

(1. Coal Transport & Marketing Branch of Huaibei Mining Co. Ltd., Huaibei 235000, China;

2. Beijing Guohua Technology Group Co. Ltd., Beijing 101300, China;

3. Tangshan Guohua Technology & Engineering Co. Ltd., Tangshan 063020, China)

Abstract: In order to further extend the upper size limit of raw coal feed of the existing H. M. cyclone and tackle the problem regarding the heavy impact on hourly capacity of the cyclone exerted by the high content of dirt in raw coal, a super S-3GHMC870/410 H. M. cyclone is applied in the 1[#] system of the plant's west section in replacement of the two 3GDMC1300/920A gravity-fed 3-product versions originally used. Industrial test shows that the super version can operate with a host of attractions, such as high separation sharpness, further reduced lower size limit of separation, high raw coal treating and deshaling capacities, and noticeably reduced power consumption, and its use can also lead to much simplification of existing washing system. The successful application of the cyclone well demonstrates its huge potential and broad prospect for widespread industrial application, and promotes its application later in the renovation of the plant's 2[#] and 3[#] systems, Guobei plant and Qinan plant.

Keywords: Super heavy medium cyclone; gravity-fed 3-product H. M. cyclone; ecart probable (epm); organic efficiency

收稿日期: 2019-01-03 责任编辑: 李梅 DOI: 10.16447/j.cnki.cpt.2019.04.008

作者简介: 黄海峰(1971—), 男, 黑龙江龙江人, 高级工程师, 工商管理硕士, 从事选煤技术、煤质管理方面的工作。E-mail: hhf_1971@163.com, Tel: 13605610398。

引用格式: 黄海峰, 黄建宇, 欧战备, 等. 超级重介质旋流器在淮北矿业的应用 [J]. 选煤技术, 2019(4): 34-39.

HUANG Haifeng, HUANG Jianyu, OU Zhanbei, et al. Application of the ultrahigh-capacity heavy medium cyclone at Huaibei Mining Company [J]. Coal Preparation Technology, 2019(4): 34-39.

进入21世纪以来,具有高效、简化、节能等优点的重介质旋流器选煤技术^[1]是得到了迅速发展。2007年,我国入选原煤采用重介质选煤工艺的所占比例达到43.5%,超过传统的跳汰选煤工艺,成为主导选煤方法。到2018年,我国重介质选煤工艺所占比例上升至75%以上。

重介质选煤技术装备的大型化、高效化发展趋势,是选煤厂节能降耗的重要措施之一。当前,三产品重介质旋流器最大直径达到1.5m,处理能力达到550~650t/h。2014年,国华科技有限公司开展了超大处理能力、超强排矸能力、超低能耗超级重介质旋流器的研发,取得了成功应用。2017年6月,国华科技和淮北矿业签订“新型原煤重介质旋流器应用研究”合作协议,旨在解决选煤行业原煤重介质旋流器入料粒度小,处理量尤其是矸石

含量高时受限,旋流器悬浮液入口压力大、功耗高等问题。

1 概况

淮北矿业临涣选煤厂是国内特大型炼焦煤选煤厂,采用原煤无压给料三产品重介质旋流器分选、煤泥浮选、尾煤压滤回收联合工艺,设计入选能力为12.5Mt/a,实际入选能力超过16.0Mt/a,2014年入选原煤高达16.99Mt。该厂入选周边矿区临涣、许疃等10多对矿井原料煤,煤种牌号有焦煤、肥煤、1/3焦煤,精煤灰分等级为9~12级。

临涣选煤厂西区选煤车间1#系统生产线采用1台S-3GHMC870/410超级重介质旋流器替代2台φ1300/920重介质旋流器,简化重介工艺系统。改造前后重介系统配置设备见表1。

表1 1#重介系统生产线改造前后设备比较

Table 1 List of equipment used before and after renovation of the 1# washing system

设备名称	改造前	改造后	备注
重介质旋流器	3GDMC1300/920A型,2台	S-3GHMC870/410型,1台	
精煤直线振动筛	SLG3673W型,4台	SLG3673W型,4台	
中煤直线振动筛	AHS3673型,2台	AHS3673型,1台	停开1台
矸石直线振动筛	SLG3673W型,2台	SLG3673W型,2台	
精煤离心机	VM1400-2KB型,4台	VM1400-2KB型,4台	
中煤离心机	VM1400-2KB型,2台	VM1400-2KB型,1台	停开1台
磁选机	CMS12/30N型,10台	CMS12/30N型,9台	停开1台

2 工业性试验

改造于2018年2月中旬完工,在双方共同协作下,工业性试验于2018年3月22日开始,2018年4月12日结束。

2.1 原煤性质

原煤粒度组成见表2。由表2可以看出:

- (1) 原煤灰分为36.84%,属于中高灰煤。
- (2) 末煤含量大,<6mm粒度产率为61.13%,旋流器的分选难度增加^[2-3],主导粒度为0.5~0mm粒度。
- (3) 随着粒径减小,灰分呈下降趋势,说明煤质较脆、易碎。
- (4) >25mm粒度的灰分达到72.32%,基本

为纯矸石。

原煤的密度组成分别见表3和表4。可选性曲线如图1所示。

表2 原煤粒度组成

Table 2 Raw coal size analysis

粒度/mm	产率	灰分
>25	10.58	72.32
25~13	11.76	55.93
13~6	16.53	43.08
6~3	20.58	30.53
3~0.5	15.64	24.32
0.5~0	24.90	21.70
合计	100.00	36.84

表3 原煤筛分浮沉结果

Table 3 Float-and-sink data of raw coal

密度级/ (g·cm ⁻³)	50~25 mm		25~13 mm		13~6 mm		6~3 mm		3~0.5 mm		50~0.5 mm	
	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分
<1.30	0.06	4.80	0.12	3.64	0.40	3.03	0.69	2.31	1.76	2.10	3.09	2.38
1.30~1.40	1.35	8.10	3.13	7.48	7.10	7.01	11.61	6.43	8.88	6.13	32.62	6.65
1.40~1.45	0.31	15.03	0.80	14.16	1.67	14.67	2.84	14.82	2.03	13.96	7.78	14.50
1.45~1.50	0.30	19.72	0.56	19.56	0.91	19.80	1.03	19.70	1.07	19.63	3.93	19.69
1.50~1.55	0.20	22.00	0.37	23.76	0.66	24.67	1.16	24.3	1.01	23.76	3.45	24.02
1.55~1.60	0.30	27.15	0.45	29.21	0.43	29.37	0.49	29.44	0.36	33.58	2.07	29.77
1.60~1.65	0.09	30.54	0.29	31.31	0.45	32.58	0.65	33.03	0.69	41.56	2.21	35.31
1.65~1.80	0.35	39.19	0.66	40.83	0.79	41.09	0.89	40.16	0.45	42.04	3.19	40.70
1.80~1.85	0.17	47.75	0.22	43.65	0.32	44.88	0.44	44.84	0.38	49.25	1.56	46.10
1.85~1.90	0.11	55.28	0.20	50.54	0.25	51.43	0.25	51.95	0.17	49.25	0.99	51.46
1.90~1.95	0.11	55.90	0.10	56.59	0.23	57.04	0.22	55.05	0.20	56.71	0.87	56.26
1.95~2.00	0.18	63.35	0.19	60.35	0.16	60.80	0.23	59.34	0.10	56.71	0.87	60.35
>2.00	10.49	87.14	8.44	85.88	8.33	84.76	6.33	85.84	3.18	82.59	37.38	85.69
合计	14.01	71.12	15.54	55.70	21.72	42.64	26.82	31.31	20.28	24.54	100.00	41.94
浮沉煤泥	0.08	31.97	0.12	27.13	0.29	27.50	0.59	25.98	0.55	26.85	1.63	26.91
总计	14.09	70.91	15.66	55.48	22.01	42.44	27.41	31.20	20.83	24.61		41.69

表4 >0.5 mm 综合级原料煤浮沉试验结果

Table 4 Float-and-sink analysis of the composite >0.5 mm raw coal feed

密度级/(g·cm ⁻³)	产率	灰分	浮物累计		沉物累计		δ ± 0.1 含量	
			产率	灰分	产率	灰分	密度/(g·cm ⁻³)	产率
<1.30	4.27	2.70	4.27	2.70	100.00	42.05	1.30	36.97
1.30~1.40	32.70	7.08	36.97	6.57	95.73	43.81	1.40	43.97
1.40~1.45	7.33	14.51	44.29	7.89	63.03	62.87	1.50	16.08
1.45~1.50	3.95	19.61	48.24	8.84	55.71	69.22	1.55	11.06
1.50~1.55	2.84	24.41	51.09	9.71	51.76	73.01	1.70	6.17
1.55~1.60	1.96	29.49	53.05	10.44	48.91	75.84	1.75	5.25
1.60~1.65	2.31	33.15	55.36	11.39	46.95	77.77	1.90	3.32
1.65~1.80	3.86	40.76	59.22	13.30	44.64	80.08		
1.80~1.85	1.39	46.47	60.61	14.07	40.78	83.80		
1.85~1.90	0.79	51.98	61.40	14.55	39.39	85.12		
1.90~1.95	0.60	56.75	62.00	14.96	38.60	85.80		
1.95~2.00	0.53	59.48	62.54	15.34	38.00	86.26		
>2.00	37.46	86.64	100.00	42.05	37.46	86.64		
小计	100.00	42.05						

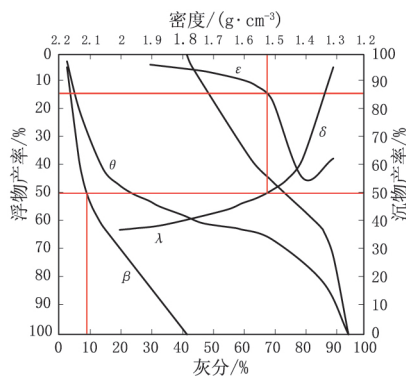


图1 >0.5 mm 综合级原料煤可选性曲线

Fig. 1 Washability curve of the composite >0.5 mm raw coal feed

由表3、表4和图1可知：

(1) 主导密度级为 >2.0 g/cm³，增加了二段旋流器的负荷，灰分达到 86.64%，为纯矽石，分选以排矽为主。

(2) 1.50 ~ 1.80 g/cm³ 密度级含量为 10.97%，中煤量较小。

(3) 当产品灰分为 9.22% 时，产品的理论产率为 49.38%，理论分选密度为 1.517 g/cm³，δ ± 0.1 含量为 21.72%（扣沉矽），属于较难选煤。

2.2 产品浮沉指标

表5—表7分别为精煤、中煤、矽石浮沉产品浮沉数据。

表5 精煤筛分浮沉结果

Table 5 Clean coal screening and float-and-sink analysis

%

密度级/ (g·cm ⁻³)	50~25 mm		25~13 mm		13~6 mm		6~3 mm		3~0.5 mm		50~0.5 mm	
	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分
<1.30	0.17	4.79	0.27	3.87	2.22	3.37	2.46	2.36	3.62	2.33	8.75	2.70
1.30~1.40	3.08	8.11	4.91	7.70	16.84	7.69	24.13	6.79	17.95	6.54	66.92	7.08
1.40~1.45	0.81	14.98	1.12	14.75	3.53	14.50	5.81	14.51	3.29	14.13	14.56	14.47
1.45~1.50	0.54	19.61	0.59	19.08	1.67	19.46	1.57	19.58	2.05	19.4	6.42	19.45
1.50~1.55	0.33	22.19	0.16	24.52	0.40	24.01	0.56	24.27	0.85	23.46	2.31	23.65
1.55~1.60	0.02	24.00	0.03	26.57	0.06	52.42	0.12	29.04	0.33	28.22	0.57	30.92
1.60~1.65							0.09	40.85	0.22	30.74	0.31	33.66
1.65~1.80									0.15	38.14	0.15	38.14
1.80~1.85									0.01	49.10	0.01	49.1
1.85~1.90												
合计	4.95	11.38	7.08	10.08	24.73	9.45	34.74	8.79	28.48	8.93	100.00	9.22
浮沉煤泥		25.28	0.01	16.31		16.54		20.89		18.64		19.89
总计	4.96	11.4	7.08	10.09	24.73	9.45	34.75	8.79	28.48	8.94		9.22

表6 中煤筛分浮沉结果

Table 6 Middling product float-and-sink analysis

%

密度级/ (g·cm ⁻³)	50~25 mm		25~13 mm		13~6 mm		6~3 mm		3~0.5 mm		50~0.5 mm	
	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分
<1.30									0.06	4.02	0.06	4.02
1.30~1.40					0.03	9.74	0.07	10.76	0.41	6.68	0.51	7.39
1.40~1.45					0.28	15.67	0.86	16.41	0.58	15.47	1.73	15.97
1.45~1.50	0.21	21.41	0.53	20.46	2.03	20.15	2.40	20.38	1.08	19.64	6.26	20.22
1.50~1.55	0.91	24.62	1.51	25.02	3.57	25.04	4.94	25.02	2.18	24.49	13.14	24.91
1.55~1.60	1.41	28.41	1.72	29.63	3.45	29.55	2.95	29.25	3.31	29.13	12.88	29.26
1.60~1.65	1.40	31.19	2.25	32.93	3.48	32.82	4.74	33.55	4.57	33.58	16.50	33.12
1.65~1.80	4.42	38.94	4.06	40.19	7.02	41.00	5.89	41.91	7.30	41.17	28.79	40.80
1.80~1.85	1.77	46.42	1.68	46.35	2.19	46.49	2.31	46.68	2.23	46.33	10.22	46.46
1.85~1.90	0.77	52.07	0.77	51.99	1.05	52.87	1.27	51.62	1.21	51.68	5.09	52.02
1.90~1.95	0.60	58.49	0.13	57.14	0.19	57.28	0.31	55.07	1.13	54.84	2.37	56.12
1.95~2.00	0.03	54.91	0.01	54.88	0.04	60.50	0.18	57.04	0.30	58.17	0.56	57.70
>2.00	0.16	67.65	0.03	64.92	0.04	70.76	0.18	69.51	1.49	68.63	1.91	68.63
合计	11.68	38.77	12.69	36.62	23.36	34.77	26.11	34.21	25.86	38.09	100.00	36.19
浮沉煤泥	0.02	32.86	0.03	31.90	0.04	35.46	0.07	26.82	0.14	38.32		34.41
总计	11.69	38.76	12.73	36.61	23.40	34.77	26.17	34.19	26.00	38.09		36.18

表7 矸石筛分浮沉结果

Table 7 Refuse product float-and-sink analysis

%

密度级/ (g·cm ⁻³)	50~25 mm		25~13 mm		13~6 mm		6~3 mm		3~0.5 mm		50~0.5 mm	
	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分	占全样产率	灰分
1.65~1.80							0.04	43.40	0.01	43.54	0.06	43.43
1.80~1.85	0.01	57.44	0.01	46.26	0.04	48.03	0.05	43.40	0.02	43.54	0.13	46.31
1.85~1.90	0.05	57.44	0.06	46.26	0.12	53.30	0.07	52.64	0.02	43.54	0.32	51.80
1.90~1.95	0.20	59.17	0.16	57.47	0.21	56.22	0.14	56.14	0.05	58.51	0.77	57.40
1.95~2.00	0.37	60.31	0.18	59.61	0.26	60.04	0.21	59.67	0.17	58.51	1.20	59.77
>2.00	48.96	87.06	16.57	86.66	16.15	86.86	9.75	86.32	5.66	84.95	97.52	86.76
合计	49.59	86.71	16.99	85.92	16.78	85.74	10.27	84.72	5.94	83.55	100.00	86.02
浮沉煤泥	0.14	79.63	0.07	78.42	0.00	79.16	0.10	79.85	0.11	76.90		78.77
总计	49.73	86.69	17.06	85.89	16.78	85.74	10.37	84.68	6.05	83.43		85.99

由表5—表7数据可以计算出:

矸石轻微污染。

(1) 精煤带矸石率为0.007%，不足万分之一的矸石混杂到精煤产品中，可以忽略，表明一段旋流器分选精度较高，主要为3~0.5 mm 粒级少量

(2) 中煤带精损失率为2.08%，其含义为损失在中煤内<1.5 g/cm³密度级的精煤占原煤中该密度级的百分比，精煤回收率达97.92%，与所提

高的数量效率指标相互吻合。从中煤浮沉数据来看,中煤带精量为8.56%,但中煤产率仅为13.08%,最终中煤所带精煤损失数量控制在约2%的水平,印证超级重介质旋流器分选精度很高。

(3) 中煤带矸污染率为3.97%,表示原煤中不到4%的 $>1.80\text{ g/cm}^3$ 密度物混杂于中煤产品中,保证了中煤发热量。

(4) 矸石带煤损失率为0.03%,即万分之三的煤炭损失在矸石中,主要为6~0.5 mm 粒级微量接近 1.80 g/cm^3 的细颗粒。

2.3 可能偏差

超级旋流器一段、二段对应各粒级可能偏差见表8。

表8 各粒级可能偏差

Table 8 The E_{pm} values for separation of different size fractions g/cm^3

筛分粒级/mm	一段可能偏差	二段可能偏差
50~25	0.024	0.021
25~13	0.025	0.020
13~6	0.028	0.027
6~3	0.031	0.027
3~0.5	0.043	0.023
50~0.5	0.033	0.027

可能偏差是评定重选设备工艺效果的重要指标^[4]。由表8可知,本次工业性试验得到超级重介质旋流器分选50~0.5 mm 粒级原煤时一、二段旋流器对应的可能偏差分别为0.033、0.027 g/cm^3 ,表征该设备分选精度是很高的。从一段旋流器各粒级对应的可能偏差数值来看,呈现粒度减小、可能偏差数值增大,即物料粒度减小分选效果稍变差^[5-6],印证了“物料粒度越小分选难度增加”的选煤理论。

2.4 数量效率

超级旋流器各粒级数量效率见表9。

表9 各粒级数量效率

Table 9 Organic efficiency for separation of different size fractions %

筛分粒级/mm	数量效率
50~25	98.74
25~13	99.08
13~6	98.76
6~3	98.69
3~0.5	98.03
50~0.5	98.74

本次工业性试验,原煤可选性属较难选煤(扣除沉矸, $\delta \pm 0.1$ 含量为21.7%),由表9可知,数量效率为98.74%,印证了上文提高的中煤带煤

损失率指标,表征超级重介质旋流器的工艺指标是优秀的。

2.5 分选密度与精煤灰分

超级旋流器各粒级分选密度与精煤灰分见表10。

表10 各粒级分选密度与精煤灰分

Table 10 Density of separation of each size fraction and ash of clean coal yielded g/cm^3

筛分粒级/mm	理论分选密度	实际分选密度	精煤灰分/%
50~25	1.535	1.537	11.38
25~13	1.513	1.504	10.08
13~6	1.502	1.503	9.45
6~3	1.508	1.500	8.79
3~0.5	1.567	1.547	8.93
50~0.5	1.517	1.513	9.22

实际分选密度是分配率为50%时对应的密度,该密度的颗粒分配至轻、重产物的概率均为50%。50~0.5 mm 原煤的实际分选密度为 1.517 g/cm^3 ,比理论分选密度 1.513 g/cm^3 低 0.004 g/cm^3 ,50~3 mm 的4个粒度实际分选密度与理论分选密度的差值在 $0.002\sim 0.009\text{ g/cm}^3$ 范围内,侧面反映出超级旋流器的分选精确程度较高。其中3~0.5 mm 的实际分选密度比理论分选密度差值为 0.020 g/cm^3 ,也与该粒级别可能偏差、数量效率数值相印证^[7](粒度越小分选难度增加,分选精煤下降)。

从表10还可以看出,原煤的理论分选密度和实际分选密度随粒级的减小先下降后增高随后再迅速降低的趋势,且3~0.5 mm 粒级的分选密度最高。这意味着不同粒级原煤具有不同的分选密度。这种现象主要是因为一方面不同粒度级原煤的密度分布不同(表3),另一方面在实际分选过程中颗粒的有效分离取决于颗粒的干扰沉降,而该过程是与颗粒粒度和密度均有相关性。

从各粒级精煤灰分来看,50~25 mm 粒级精煤灰分是超出精煤灰分区间,与块精煤内嵌布少量高灰物有关,块精煤破碎即可将煤炭与高灰物有效分离。

2.6 分选下限

对于重介质分选机, $<0.5\text{ mm}$ 某一粒度级的可能偏差 $\leq 0.10\text{ g/cm}^3$,作为评定重选设备的分选下限指标。

S-3GHMC870/410 超级重介质旋流器的单机试验中得出,0.5~0.25 mm 粒级的可能偏差为 0.097 g/cm^3 ,小于所规定的 0.10 g/cm^3 ,可以确

定该超级重介质旋流器的分选下限^[8]达到0.25 mm。

3 技术经济指标

3.1 处理量

S-3GHMC870/410型重介质旋流器设计最大处理能力为870 t/h、最大排矸量为410 t/h,在临涣选煤厂生产中最大处理量超过900 t/h,工业性试验阶段达810 t/h。

但受后续煤泥处理、运输系统能力不足制约,投入运行至今,临涣选煤厂西区1#系统超级旋流器平均处理能力仅为753 t/h。与该厂采用传统的3GDMC1300/920A型重介质旋流器平均处理能力为325 t/h相比,超级重介质旋流器是 ϕ 1300型旋流器处理能力的2.32倍。

3.2 单位电耗

工业性试验实测超级重介质旋流器的吨原煤电耗为0.96 kWh,2008年8月检测传统3GDMC1300/920A型重介质旋流器吨煤电耗为1.37 kWh。考虑停开1台中煤脱介筛、1台中煤离心机及1台磁选机(合计功率为103.75 kW,功率因数 $\cos\phi=0.80$)折算吨煤电耗为0.10 kWh,改造前后对比,该厂超级旋流器节电约37.4%,节电经济效益可观^[9]。

3.3 简化工艺系统

淮北矿业临涣选煤厂采用1台S-3GHMC870/410型重介质旋流器替代2台3GDMC1300/920A型重介质旋流器^[10],解决了原来分料刮板输送机至两台旋流器分料不均的问题,简化工艺配置,仅配置一套悬浮液系统,便于生产、操作管理。

需提及的是,由于超级旋流器入料粒度上限增大至150 mm,具有超大排矸能力,杜绝了传统重介质旋流器一二段连接管堵塞事故的发生,避免精煤灰分超标质量事故的发生。

4 结语

临涣选煤厂西区3#、2#系统超级旋流器项目分

别已于2018年11月、2019年7月完工,涡北选煤厂1#系统超级旋流器改造于2019年1月投入运行,2#系统超级旋流器改造正在施工中,2019年5月完成动力煤祁南选煤厂超级旋流器应用项目改造。淮北矿业采用6台超级重介质旋流器替代11台传统三产品重介质旋流器的应用是成功的,为新建选煤厂或老厂改造提供了良好的借鉴意义。

S-3GHMC型超级重介质旋流器具有处理能力大、分选精度高、排矸能力大、节电效果明显等优点,但超级重介质旋流器处理能力是传统三产品重介质旋流器的2.32倍,需从提高旋流器过流部件材质耐磨性、降低悬浮液入口压力等方面进一步进行研究,进而提高超级旋流器的可靠性与经济性。

参考文献:

- [1] 谢广元. 选矿学 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2010.
- [2] 匡亚莉. 选煤厂工艺设计及管理 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [3] 陈建中, 沈丽娟, 赵跃民. 选矿机械 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2012: 403.
- [4] 戴少康. 选煤工艺设计的思路和方法 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2003.
- [5] 杜焕铜, 师文虎. 影响重介质旋流器分选效果的因素分析 [J]. 选煤技术, 2012 (6): 42-44.
- [6] 张力强, 侯紫坤. 影响重介质旋流器分选效果的因素及调整对策分析 [C] //中国煤炭学会选煤专业委员会. 2014年全国选煤学术交流会论文集. 唐山: 《选煤技术》编辑部, 2014: 78-81.
- [7] 赵树彦. 重介质旋流器选煤技术的热点问题 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2017 (3): 1-5.
- [8] 丛目红. 重介质旋流器选煤技术研究进展 [J]. 选煤技术, 2018 (9): 8-11.
- [9] 韩万松, 闫锐敏, 庾朝富, 等. 适用于炼焦煤选煤厂技术经济考核的四项指标明 [J]. 选煤技术, 2015 (2): 64-68.
- [10] 赵树彦, 袁红军, 徐学武, 等. 大型无压给料两段两产品重质旋流器分选动力煤的研究和应用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2013 (1): 1-4, 7.