

昆钢大红山铁中矿再选实验研究

陈俊良¹, 杨波¹, 李修智¹, 支京豪¹, 肖日鹏²

(1. 昆明理工大学, 云南 昆明 650093; 2. 昆明理工凯吉思科技有限公司, 云南 昆明 650093)

摘要: 昆钢大红山铁中矿含铁品位 50.68%, 有用矿物主要成分为赤铁矿、磁铁矿, 脉石矿物主要为绿泥石、石英, 且矿物中微细粒级矿物占比相对较大, 品位较高, -74 μm 粒级占总重量的 89.05%, 铁分布率为 92.77%, -38 μm 占到总量的 51.07%, 平均铁品位达到 54.58%。针对昆钢大红山铁中矿的性质, 采用弧面铺展流膜分选机进行回收铁的实验研究, 在矿浆浓度 25%、转速 25 Hz、给矿量 250 g/min、洗涤水量 3.33 L/min 的较佳条件下, 得到铁品位为 61.12%, 回收率为 81.26% 的良好指标。

关键词: 赤铁矿; 磁铁矿; 重选; 弧面铺展流膜分选机

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2021.02.022

中图分类号: TD951 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2021) 02-0132-06

1 昆钢大红山概述

昆钢大红山位于云南省玉溪市, 是我国西南地区主要的铁、铜矿生产基地, 该矿床为铁、铜共生, 同时伴有金、银等有用金属的特大型矿床。探明的铁矿石储量为 4.6 亿 t, 主要成分为磁铁矿、赤铁矿^[1]及少量的镜铁矿。脉石矿物主要为石英、钠长石、白云石、绿泥石等。昆钢大红山年供铁矿量 450 万 t, 铁矿石品位 18.40%, 含铜品位 0.26%。其中每年生产铁中矿量 60 万 t 左右, 该部分铁中矿^[4]品位在 35%~50% 左右, 由于不能直接冶炼, 长期的堆存不仅占用大量土地资源而且对周边环境也会造成污染。

2 大红山铁中矿性质

2.1 化学组成分析

原矿化学多元素分析, 结果见表 1。

表 1 原矿化学组成分析 /%

Table 1 Chemical composition analysis of the raw ore

TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Na	P/10 ⁻⁶
50.68	14.38	8.80	10.25	3.36	0.55	0.34

2.2 原矿粒度组成分析

采用水析和筛析的方法对矿样进行粒度分析, 结果见表 2。

表 2 原矿筛分分析实验结果

Table 2	Test results of the raw ore screening analysis		
粒级 / μm	产率 / %	Fe 品位 / %	Fe 分布率 / %
+100	3.19	20.01	1.27
-100+74	7.76	38.63	5.96
-74+45	23.88	47.93	22.75
-45+38	14.11	51.57	14.49
-38+27	31.23	54.21	33.71
-27+17	10.78	55.78	11.97
-17+10	4.62	53.11	4.88
-10	4.43	55.82	4.93
合计	100.00	50.23	100.00

由表 2 可知, 实验所用矿样极细, 铁主要分布在 -74 μm 粒级, -38 μm 51.07%, 常规重选设备如摇床、溜槽对矿样分选效果可能不理想。

3 实验设备

3.1 弧面铺展流膜分选机简介

弧面铺展流膜分选机又称 KGS-II 由昆明理工

收稿日期: 2019-12-09; 改回日期: 2020-03-06

作者简介: 陈俊良 (1993-), 男, 硕士, 主要研究方向为选矿设备。

通讯作者: 杨波 (1964-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事微细粒级矿物回收, 重选设备及工艺研发。

大学杨波副教授研究开发的一种新型针对微细粒矿物的重选设备，该设备能耗低、设备运行稳定、无噪音污染，处理微细粒级矿物^[6]相较传统重选设备摇床时回收效率高，处理量是摇床的8-10倍，而且可以串联使用，分选后的精中尾矿矿浆浓度较高，不需要浓缩而直接进行后续作业，多台设备可模块化自由组装，节约了占地面积。KGS-II结构简单，对选厂基建要求低。

3.2 弧面铺展流膜分选机结构

弧面铺展流膜分选机主要有给矿装置、分选装置、设备壳体、洗涤装置、调频控制器、接矿槽、电源开关等。给矿盘与调频电机相连，调频控制器控制调频电机转速；设备壳体焊接在接矿槽上，接矿槽分为精矿槽、中矿槽和尾矿槽，壳体上设有数个观察孔和操作孔；设备底盘上安装有分选面，在调频电机通过皮带的驱动下，分选盘作回旋运动。

3.3 弧面铺展流膜分选机分选原理

弧面铺展流膜分选机^[9]是依据斜面分选原理、分层动力学体系学说、麦依尔理论和水跃现象进行研究。斜面流分选原理^[5]是矿物颗粒沿斜面流动的水流推动作用和自身重力作用向下运动，由于矿物之间的比重不同，不同矿物沿斜面运动速度不同的原理进行分选。分层动力学体系学说^[3]是密度不同的矿物颗粒在矿浆之中受介质的动力作用产生的沉降速度或差距进行分层。麦依尔理论矿物颗粒沉降分层是具有比重差异的矿物位能转移^[7]，大比重矿物颗粒下降位能降低，小密度上升位能升高，从而形成依据各密度粒群的堆密度分层现象。水跃现象^[2]是矿浆流沿斜面流动时遇到障碍物时，矿浆流膜向上跃起，分层矿浆形成分散状态，流膜上层轻矿物流动速度较快，底层矿浆中重矿物流速较慢，从而形成上下层速差，有利于轻重矿物的分选和再分层。

4 实验结果

4.1 矿浆浓度实验

弧面铺展流膜分选机属于一种新型流膜重选设备，矿浆从分选给矿盘给入分选盘面顶部，形成均匀混合的矿浆铺展流层，矿浆流速相对较慢，矿浆^[8]中的轻重矿物根据比重差异开始进行分层。此时矿浆浓度的高低会影响轻重矿物在矿浆之中的沉积速度和分层效果，实验结果见表3。

表3 KGS-II 浓度实验数据

给矿浓度 /%	产品名称	产率 /%	铁品位 /%	回收率 /%
20	精矿	81.69	55.88	90.45
	尾矿	18.31	26.33	9.55
	原矿	100.00	50.47	100.00
25	精矿	81.34	55.13	88.59
	尾矿	18.66	30.96	11.41
	原矿	100.00	50.72	100.00
30	精矿	81.05	55.27	88.32
	尾矿	18.95	31.26	11.68
	原矿	100.00	50.72	100.00
35	精矿	78.47	54.38	83.93
	尾矿	21.53	37.85	16.07
	原矿	100.00	50.84	100.00

从表3可知，当矿浆浓度为20%时，铁精矿品位和回收率达到最大值，分别为55.88%、90.45%，当矿浆浓度为25%、30%时，品位和回收率大致相同，当矿浆浓度达到35%时，此时品位和回收率明显降低，分选效果不明显。实验数据说明当矿浆浓度偏低时，铁精矿品位和回收率较高；浓度偏高时，铁精矿品位和回收率较低，综合分析当矿浆浓度在20%~35%时分选较为理想，下面实验矿浆浓度默认为25%。

4.2 分选盘转速实验

分选盘主要是弧面铺展流膜分选机核心部件，当矿浆在分选面上进行松散-分层-富集时，盘面转动产生的回旋剪切力对矿物颗粒的分层有利，同时转速也影响矿物在分选盘面的洗涤时间，当转速较慢时沉积区堆积矿物颗粒的洗涤时间增长，导致高品位的精矿流入尾矿槽中；相反，若转速较快

会增加回旋剪切力,虽然加快了矿物分层,但沉积区矿物的洗涤时间降低。控制给矿浓度为 25%,给矿量为 250 g/min,洗涤水量为 3.33 L/min,试样重量 1000 g,实验结果见表 4。

表 4 KGS-II 转速条件实验结果

Table 4 KGS - II speed conditions test results

转速 /Hz	产品名称	产率 /%	铁品位 /%	回收率 /%
20	精矿	84.06	55.39	91.64
	尾矿	15.94	26.65	9.36
	原矿	100.00	50.81	100.00
25	精矿	83.89	55.09	91.24
	尾矿	16.11	27.53	8.76
	原矿	100.00	50.65	100.00
30	精矿	82.68	56.93	92.75
	尾矿	17.32	21.21	7.25
	原矿	100.00	50.75	100.00
35	精矿	83.83	54.56	90.71
	尾矿	16.17	28.96	90.29
	原矿	100.00	50.42	100.00

从表 4 可知,在给矿浓度、给矿量等条件相同的情况下,转速为 25 Hz 时铁精矿的品位和回收率均达到最高值,分别为 56.93%、92.75%。

4.3 给矿量条件实验

给矿量的大小影响矿浆在弧面分选盘面的分层效果,矿量过大会导致矿浆在分选盘顶部停留时间过短,矿浆来不及分层,轻重矿物沿着弧面直接流入矿浆沉积区堆积,导致洗涤水洗涤效果不好,最终难以获得较好的分选效果;给矿量过小会直接影响设备的处理量,矿浆流膜层薄,矿物沉降距离较短,分层效果不理想。

控制给矿浓度 25%,转速 24 Hz,洗涤水量 3.33 L/min,试样重量为 1000 g,实验结果如表 5。

表 5 KGS-II 给矿量实验数据

Table 5 KGS - II feeding ore test data

给矿量 /(g·min ⁻¹)	产品名称	产率 /%	铁品位 /%	回收率 /%
150	精矿	73.37	56.12	81.26
	尾矿	26.63	35.65	18.74
	原矿	100.00	50.67	100.00
200	精矿	80.14	55.56	88.18
	尾矿	19.86	30.04	11.82
	原矿	100.00	50.49	100.00
250	精矿	82.06	56.43	90.99
	尾矿	17.94	25.55	9.01
	原矿	100.00	50.89	100.00
300	精矿	79.84	54.93	86.54
	尾矿	20.16	33.85	13.46
	原矿	100.00	50.42	100.00

由表 5 给矿量实验结果可知,在给矿浓度、转速等条件不变时,给矿量为 250 g/min 时获得的铁精矿品位和回收率较高,分别为 56.43% 和 90.99%,当给矿量为 200 g/min 时获得的铁精矿品位和回收率分别为 55.56%、88.18%。综合考虑当给矿量在 200 g/min ~ 250 g/min 范围内时分选效果较好。

4.4 洗涤水量实验

在矿浆浓度 25%、给矿量 250 g/min、转速 24 Hz、试样 1000 g 的条件下进行实验,实验结果见表 6。

表 6 KGS-II 洗涤水量条件实验结果

Table 6 KGS - II water washing test results

洗涤水量 /(L·min ⁻¹)	产品名称	产率 /%	铁品位 /%	回收率 /%
1.66	精矿	93.37	52.12	95.78
	尾矿	6.63	32.36	4.22
	原矿	100.00	50.81	100.00
2.50	精矿	84.14	54.86	91.25
	尾矿	15.86	27.88	10.41
	原矿	100.00	50.58	100.00
3.33	精矿	82.01	56.43	90.97
	尾矿	17.99	25.55	9.03
	原矿	100.00	50.87	100.00
4.17	精矿	70.22	56.93	79.01
	尾矿	29.78	35.67	20.99
	原矿	100.00	50.60	100.00

由表 6 可知,当给矿浓度、转速等条件相同时,洗涤水量为 4.17 L/min 时得到的铁精矿品位较高,为 56.93%,但此时回收率较低,为 90.93%,当洗涤水量为 3.33 L/min 时,此时铁精矿品位和回收率分别为 56.43%、90.93%。综上所述,洗涤水量为 3.33 L/min 时分选效果较好。

4.4 一粗两扫三精开路实验

根据探索实验得知,弧面铺展流膜分选机针对大红山 50% 品级铁中矿具有良好的分选效果,一次分选获得精矿含铁品位达到 56.79%、回收率 81.94%,尾矿含铁品位 36.22%、回收率 18.06% 的良好指标,但还需要进行精选和扫选作业,以求获得精矿品位达到 60% 以上,回收率保证 80% 以上,降低尾矿中铁品位。

为进一步提高精矿品位、降低尾矿品位，实验条件依据条件实验进行设定，见表 7。

表 7 开路实验参数

Table 7 Open-circuit test parameters				
分选作业	浓度 /%	给矿量 /($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$)	转速 z	洗涤水 /($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)
粗选	25	250	24	3.33
一次精选	25	250	23	3.33
二次精选	25	250	23	3.33
三次精选	25	250	23	3.33
一次扫选	20	200	24	3.33
二次扫选	20	200	24	3.33

实验样品称取 1000 g，采用搅拌桶搅拌混匀进行连续给矿。弧面铺展流膜分选机粗选、精选获得精矿浓度较高，可直接进行下段作业；由于粗选尾矿浓度较低需进行沉淀浓缩。给矿浓度在 20% 左右可进行扫选作业。

开路实验采用一粗两扫三精过程见图 1，开路实验获得一个精矿、五个中矿和一个尾矿。实验结果如表 8。

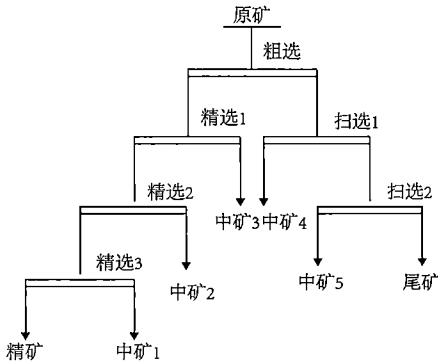


图 1 开路实验流程

Fig.1 Open-circuit test process

表 8 开路实验数据

Table 8 Open-circuit test data			
产品名称	产率 /%	铁品位 /%	回收率 /%
精矿	56.54	63.97	72.39
中矿 1	8.67	41.25	7.16
中矿 2	7.49	36.31	5.44
中矿 3	6.01	32.76	3.94
中矿 4	4.21	31.81	2.68
中矿 5	3.94	28.53	2.25
尾矿	13.15	23.33	6.14
原矿	100.00	49.96	100.00

采用一粗三精两扫开路流程实验获得精矿产率为 56.54%，Fe 品位达到 63.97%，回收率为

72.39%，精矿品位提高了 14 个百分点；尾矿产率为 13.15%，Fe 品位为 23.33%，回收率为 6.14%。综合分析，采用“一粗三精两扫”开路流程获得铁精矿品位 64% 左右，回收率占到 72% 左右，尾矿品位降低至 23% 左右，分选效果较为良好。

4.5 一粗两扫三精闭路实验

根据以上开路实验获得精矿品位达到 63%，但回收率不足 80%，为综合回收开路实验获得三个中矿中的铁金属，采用一粗两扫三精闭路实验进行分选，提高精矿回收率，实验流程见图 2，实验条件见表 9。

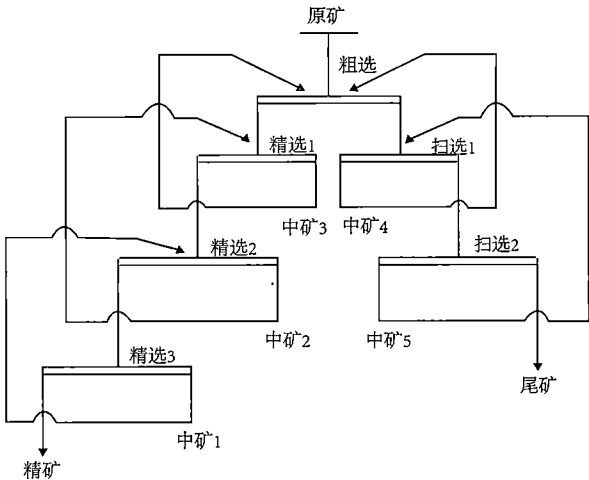


图 2 闭路实验流程

Fig. 2 flow chart of closed circuit test

表 9 闭路实验参数

Table 9 Closed-circuit test parameters				
分选作业	浓度 /%	给矿量 /($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$)	转速 /Hz	洗涤水 /($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)
粗选	25	250	24	3.33
一次精选	25	250	23	3.33
二次精选	25	250	23	3.33
三次精选	25	250	23	3.33
一次扫选	20	200	24	3.33
二次扫选	20	200	24	3.33

闭路实验采用一粗两扫三精联合分别选别，中矿返回到上一段作业，最终仅获得精矿和尾矿两个产品。实验过程采用分段连续分选，获得精矿、五个中矿和尾矿，中矿保留添加至下一个实验阶段，连续进行重复，直至矿样总量平衡后停止实验，取精矿、尾矿样品进行化验分析。结果见表 10。

表 10 闭路实验结果

Table 10 Closed-circuit test results

产品名称	产率 /%	铁品位 /%	回收率 /%
精矿	66.62	61.12	81.26
尾矿	33.38	28.13	18.74
原矿	100.00	50.11	100.00

根据闭路实验数据结果可知,精矿含铁品位为 61.12%,回收率为 81.26%,相比开路实验精矿产率提高了 10 个百分点,品位降低了 3 个百分点,回收率提高了 9 个百分点。尾矿含铁品位为 28.13%,回收率为 18.74%,相比开路实验尾矿产率增加至 33.38%,品位降低 5 个百分点,回收率提高了 12 个百分点。

5 结 论

(1) 昆钢大红山铁中矿含铁品位 50.68%,有用矿物主要成分为赤铁矿、磁铁矿,脉石矿物主要为绿泥石、石英,且矿物中微细粒级矿物占比相对较大,品位较高 -74 μm 89.05%,Fe 分布率为 92.77%, -38 μm 51.07%,平均 Fe 品位达到 54.58%。

(2) 针对昆钢大红山铁中矿的性质,采用弧面铺展流膜分选机进行回收铁的实验研究,在矿浆浓度 25%、转速 25 Hz、给矿量 250 g/min、洗涤水量 3.33 L/min 的较佳条件下,采用一粗两扫三精开路实验进行实验分选,获得精矿含铁品位达到 63.97%,回收率达到 72.39%,分选效果较为理想,中矿可继续进行回收率利用,尾矿含铁品位为 23.33%。采用一粗两扫三精闭路实验进行实验分选,获得精矿含铁品位为 61.12%,回收率达到 81.26% 的良好指标,但在尾矿之中含铁品位 28.13%,主要为微细粒级难回收铁矿物,实验结果达到预期要求。

参考文献:

- [1] 金廷福,李佑国,周恒,等. 云南大红山铁矿床磁铁矿石类型及成因意义 [J]. 矿物学报, 2015,35(S1):585.
- JIN T F, LI Y G, ZHOU H, et al. Types and genetic significance of magnetite ore in Dahongshan iron deposit, Yunnan province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015,35(S1):585.
- [2] 李思辰. 水跃现象原理及其在沉积学中的意义 [A]. 中国地质学会沉积地质专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会. 2015 年全国沉积学大会沉积学与非

常规资源论文摘要集 [C]. 中国地质学会沉积地质专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会: 长江大学地球科学学院, 2015:2.

LI S C. The principle of hydrojump and its significance in sedimentology [A]. Sedimentary Geology Committee of Geological Society of China and Sedimentary Geology Committee of Mineralogy, Petrology and Geochemistry Society of China. The Abstracts of Papers on Sedimentology and Unconventional Resources of the 2015 National Conference on Sedimentology [C]. Sedimentary Geology Committee of Geological Society of China, Sedimentary Geology Committee of Mineralogy, Petrology and Geochemistry Society of China: School of Earth Sciences, Yangtze University, 2015:2.

[3] 李伟东. 哈密顿体系中分层复杂地基动力柔度精细算法的研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2011.

LI W D. Research on dynamic compliance algorithm of layered complex foundation in Hamiltonian system [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011.

[4] 李雪明, 范有才. 大红山新模式采矿生产难点解析 [J]. 现代矿业, 2010,26(9):125-126.

LI X M, FAN Y C. Analysis of difficulties in production of new mode mining in Dahongshan [J]. Modern Mining, 2010,26(9):125-126.

[5] A·B·波格丹诺维奇, 陈经华, 李长根. 砂矿和细粒浸染矿石的重选技术和工艺发展的主要趋势 [J]. 国外金属选矿, 2008(7):2-7.

A·B·Bogdanovic, CHEN J H, LI C G. The main trend of gravity separation technology and process development of placer and fine-grained disseminated ore [J]. Metal Ore Dressing Abroad, 2008(7):2-7.

[6] H. 舒伯特, 余宗周. 关于溜槽与螺旋选矿机重选的基本原理 [J]. 国外金属矿山, 1996(8):40-45.

H. Schubert, YU Z Z. Basic principle of gravity separation of chute and spiral concentrator [J]. Foreign Metal Mine, 1996(8):40-45.

[7] 蒋述兴. 微型圆盘斜面式矿物分选仪的工作原理及应用 [J]. 桂林工学院学报, 1995(2):204-210.

JIANG S X. Working principle and application of micro-disc inclined plane mineral separator [J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 1995(2):204-210.

[8] 陈迹. 跳汰理论与跳汰机的发展 (上) [J]. 金属矿山, 1988(8):40-45+39.

CHEN J. Jigging theory and development of jigging machine (Part 1) [J]. Metal Mine, 1988(8):40-45+39.

[9] 潘国柱. 流膜原理及其工艺的有关问题 [J]. 有色金属 (冶炼部分), 1976(1):33-39.

PAN G-Z. Flow film principle and related problems of process [J]. Nonferrous Metals (Smelting Section), 1976(1):33-39.

(下转 124 页)

electrochemical performance of vanadium oxide thin films grown by atmospheric pressure chemical vapour deposition[J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2011, 95(10): 2842-2847.

[26] Axelevitch A, Gorenstein B, Golan G. Investigation of the electrical transport mechanism in VOx thin films[J]. Microelectronics Reliability, 2011, 51(12): 2119-2123.

[27] 葛欣, 尚志航, 秦岩, 等. 氢水平衡法制备二氧化钒薄膜及 XPS 能谱分析 [J]. 光谱实验室, 2002, 19(6): 819-821.

GE X, SHANG Z H, QIN Y, et al. Preparation of vanadium

dioxide thin films by hydrogen-water equilibrium method and XPS energy spectrum analysis [J]. Spectroscopy Laboratory, 2002, 19(6): 819-821.

[28] 陈益超, 颜文斌, 石爱华, 等. 微波辅助 - 甲醇还原法制备 M 相二氧化钒粉体 [J]. 材料科学与工艺, 2019, 27(3): 41-46.

CHEN Y C, YAN W B, SHI A H, et al. Preparation of M-phase vanadium dioxide powder by microwave assisted thermal-methanol reduction [J]. Materials Science and Technology, 2019, 27(3): 41-46.

Status Quo of on the Preparation Process of Vanadium Dioxide

Zhang Shuai, Li Hui, Liang Jinglong

(Key Laboratory of Modern Metallurgical Technology, Ministry of Education, School of Metallurgy and Energy, North China University of Technology, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: The basic characteristics and application status of vanadium dioxide are summarized. The preparation process of vanadium dioxide is introduced, including the research status, advantages and disadvantages of sol-gel method, hydrothermal method, magnetron sputtering method and chemical vapor deposition method. And His own insights on how to prepare vanadium dioxide more rationally in the future were given.

Keywords: Vanadium dioxide; Sol-gel method; Hydrothermal method; Magnetron sputtering method; Chemical vapor deposition

////////////////////////////////////
(上接 136 页)

Experimental Study on Re-dressing of Dahongshan Middle Ore of Kunming Iron and Steel

Chen Junliang¹, Yang Bo¹, Li Xiuzhi¹, Zhi Jinghao¹, Xiao Ripeng²

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, China; 2. Kunming Science and Technology Kaijisi Technology Co., Ltd., Kunming, Yunnan, China)

Abstract: The iron grade of Dahongshan iron ore of Kunshan iron and steel is 50.68%. The main components of useful minerals are hematite and magnetite. The gangue minerals are mainly chlorite and quartz. The proportion of fine-grained minerals in the mineral is relatively large, The grade is higher, -74 μm particle size accounts for 89.05% of the total weight, the iron distribution rate is 92.77%, -38 μm accounts for 51.07% of the total, and the average iron grade reaches 54.58%. According to the properties of the Dahongshan iron ore in Kunshan iron and steel, a curved surface spreading film sorter was used to conduct experimental research on iron recovery. Under the best conditions, a good index of iron grade 61.12% and recovery rate 81.26% was obtained.

Keywords: Hematite; Magnetite; Gravity separation; KGS-II