

水平磁场高梯度磁选机的改进及其在攀西某钛铁矿的应用

刘建国^{1,2,3,4}, 戴惠新¹, 于丽丽^{2,3,4}, 冯嘉颖^{2,3,4}, 王在华^{2,3,4}

- 昆明理工大学国土资源工程学院, 云南昆明 650093;
- 广东省科学院资源利用与稀土开发研究所, 广东广州 510650;
- 稀有金属分离与综合利用国家重点实验室, 广东广州 510650;
- 广东省矿产资源开发与综合利用重点实验室, 广东广州 510650

中图分类号: TD924; TD457 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2024)03-0109-08
DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.03.012

摘要 水平磁场高梯度磁选机具有磁系不易腐蚀、磁介质不易堵塞等特点, 用于钛铁矿粗选效果良好, 但该型设备受磁系间距限制, 分选环宽度、磁介质体积量较小, 影响处理量, 且激磁能耗高, 需要对其进行改进, 提高处理量、降低能耗。以SSS-II-2750水平磁场高梯度磁选机为基础, 对其分选环系统进行了改进, 在磁系高度方向增加分选环厚度, 并分成内外双层环, 并对内层环配置粗介质的介质盒以吸附粗粒、强磁性目的矿物, 对外层环配置细介质的介质盒以吸附细粒、微细粒磁性较弱的目的矿物, 可实现梯级分选, 同时, 内外环均配置卸矿装置, 分层卸矿, 可有效保障目的矿物的卸矿效率。在攀西地区某选钛厂钛铁矿一段粗选工序考察其效果, 在磁场强度 0.45 T、立环转速 6.2 r/min、冲程 10 mm、冲次 120 r/min、给矿量 160 t/h、原矿 TiO₂ 品位 10.42% 的条件下, 改进后的水平磁场高梯度磁选机可获得 TiO₂ 品位 18.55%、回收率 85.78% 的钛粗精矿。与改进前磁选机、垂直磁场高梯度磁选机相比, 其钛粗精矿品位与其他两种设备相近, 但回收率分别高 8.43、13.63 百分点, 分选效果好, 同时改进后的水平磁场高梯度磁选机的激磁能耗在三种设备中最低, 为 0.49 kW·h/t, 表明该设备处理量大且能耗低, 实现了设备改进目的。

关键词 水平磁场; 高梯度磁选机; 钛铁矿; 磁选

前言

高梯度强磁选具有磁场均匀、介质易磁化且磁场梯度高、磁力强、介质及负载轻、处理量大、处理效果好等特点^[1-2], 广泛应用于铁矿选矿、钛铁矿预富集、非金属矿除铁、废水处理等领域^[3-5], 越来越受到世界各国重视。其中高梯度强磁选常作为原生钛铁矿“磁选—浮选”常规选别工艺中的强磁选设备被广泛应用^[6-9], 并不断创新发展。钛铁矿粗选用的高梯度强磁选设备主要有垂直磁场高梯度强磁选机和水平磁场高梯度强磁选机^[10-11], 其中垂直磁场高梯度磁选机磁场方向为垂直方向, 同规格该类设备处理量较水平磁场

磁选机大, 但该类设备磁系结构易腐蚀、磁介质盒易堵塞, 设备维护、维修成本高且分选指标差; 水平磁场高梯度磁选机的磁场方向是水平的, 相较于垂直磁场高梯度磁选机, 在实践中主要具有如下特点^[12-15]: 其矿浆系统与磁系系统独立配置, 矿浆不与磁系接触, 磁系不被腐蚀, 使用寿命长; 磁介质棒为矩阵式排布, 矿浆流通过路更畅通, 且磁介质棒上不易形成磁性物累积, 介质盒不易堵塞, 吸附和卸矿效果更好, 介质盒耐用性更好。同时, 由于原生钛铁矿比磁化系数较高, 适宜用来磁选回收的磁场强度适中, 一般在 0.2~0.6 T 范围内, 因此, 结合水平磁系高梯度磁选机的结构特点, 其更适合钛铁矿选别。特别是对占我国钛资源 80% 以上的攀西地区原生钛铁矿的选别^[16-19], 水平磁场

收稿日期: 2024-03-15

基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金(2022A1515012165); 广东省重点领域研发计划项目(2022B0303030002); 广东省科学院专项资金项目(2022GDASZH-2022010104, 2023GDASZH-2023010104)

作者简介: 刘建国(1984—), 男, 河北沧州人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事矿产资源综合利用, 磁分离装备研发等研究工作, E-mail: liujianguo@grre.gd.cn。

通信作者: 戴惠新(1966—), 男, 云南昆明人, 博士, 博导, 教授, 主要从事矿产资源综合利用, 磁选理论与设备研发等研究工作, E-mail: dhx6688@sina.com。

高梯度磁选机得到越来越多的应用。对于水平磁场高梯度磁选机,王丽娟等人将磁系与激磁构件配置在分选环上方,并采用三重磁介质卸矿方式卸矿,实现了使用网介质不堵塞磁介质,且对弱磁性颗粒具有显著分选效果^[20]。徐少华等人^[21]研究了采用油冷、水冷两种方法对空心铜管、铜排作为激磁线圈进行冷却的特点,并提出应根据不同设备的特点和使用条件,选择合适的冷却方式,以确保设备高效工作。宁宇等人^[22]研究了设备精矿管堵塞的原因,并通过磁系漏磁特性研究,改造了精矿管配置位置,有效解决了精矿管沉积而影响分选效率的问题。本文在现有技术基础上研究了水平磁场高梯度磁选机磁系空间磁场分布情况,改进了分选环和卸矿系统,有效增加了磁介质体积量、提高了磁能利用率,实现了处理量的显著提高和设备能耗的降低。

1 水平磁场高梯度磁选机的优化改造

SSS-II 系列水平磁场高梯度磁选机在攀西地区某选铁厂用于钛铁矿强磁粗选抛废,取得良好的指标。但该系列磁选机存在磁能利用率低、磁介质体积量小等不足,使得设备处理量受限制,需要技术攻关。

针对上述问题,以现场生产用的 SSS-II-2750 水平磁场高梯度磁选机为基础,对其分选环系统进行了优化改造,在保证分选效果前提下,显著提高设备处理量。

1.1 分选环系统优化改造

水平磁场磁系的结构特点是磁系间的水平距离受限制,为了确保磁场强度满足要求,磁间距不宜过大,从而限制了分选环水平方向的宽度,但水平磁场因为其磁场强度在垂直于水平磁力线方向是均匀的即其分选高度方向无磁系约束,因此,磁系高度可以适当增加,从而可以使分选环的厚度增加,提高磁介质体积量和矿浆处理量。

增加分选环的厚度需要解决两个主要问题:(1)需要匹配足够厚度的磁介质盒,且在增加磁介质盒厚度的同时,不影响卸矿效率;(2)合理利用分选空间的磁场特性,在增加处理量的同时不影响分选效果。

为了解决上述主要问题,对水平磁场高梯度磁选机的优化改造主要为:(1)增大分选环厚度并进行分层处理,形成内外双层环;(2)磁介质盒介质棒在内外双层环上梯级配置,保证梯度磁场强度,确保在处理量增加前提下不影响分选效果;(3)原外层冲洗水卸矿装置不变用于外层环卸矿,内外分选环之间增加冲洗水卸矿装置用于内层环卸矿,从而保证卸矿效率。

原设备用单层环实物见图 1,改进后的双层分选环实物见图 2,改进前后分选作用厚度由优化改造前的 205 mm 增加到 410 mm,分选作用厚度增加 1 倍;

改造后的双层分选环磁介质体积量由改造前的约 1.02 m³ 增加到 1.60 m³,磁介质质量增加 56.87%,其磁介质体积量与同型号的垂直磁系高梯度磁选机的磁介质质量相当。优化后的高梯度磁选机可有效提高矿浆处理量。

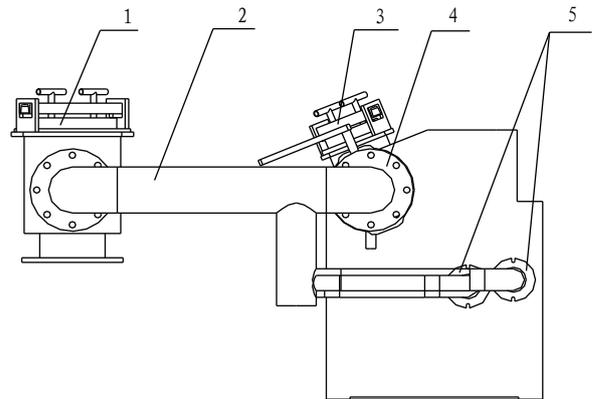


图 1 拆卸的原设备用单层环
Fig. 1 Single-layer ring dismantled from the HGMS



图 2 安装到位的改进后的内外双层分选环
Fig. 2 Improved inner and outer double-layer sorting rings installed

与内外双层分选环匹配的卸矿装置示意图见图 3。工作原理主要为:通过上端的主进水对外层环介质盒进行冲洗卸矿,采用安装在内外层环中间的并排双管装置对内层环介质盒进行冲洗卸矿,并排双管用水为主进水管路分流用水。冲洗下来的内外层介质盒的磁性物产品通过精矿斗汇集后作为最终产品。



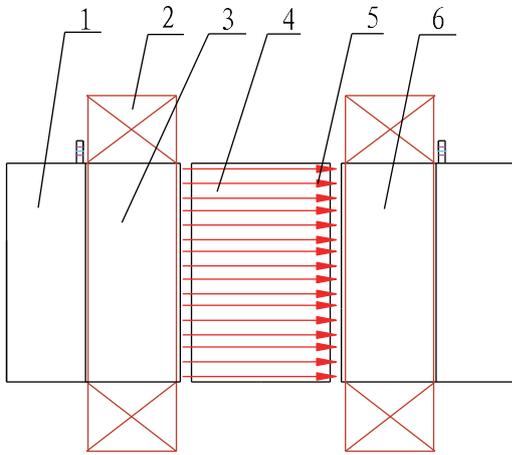
1—进水总闸;2—进水主管路;3—外层环冲洗装置闸门;4—外层环冲洗进水;5—外层环双管冲洗进水

图 3 改进后的卸矿装置示意图
Fig. 3 Schematic diagram of improved concentrate discharging device

1.2 改造后的水平磁场高梯度磁选机分选原理

水平磁场高梯度磁选机的磁系、激磁线圈、分选

腔系统如图 4 所示, 激磁线圈通电后, 产生水平方向的磁力线, 分选空间产生磁场, 改进后的分选环系统内外层磁介质盒随着分选环进入分选腔体, 矿浆自上部给入分选腔, 矿浆首先经过内层环磁介质盒, 矿浆中磁性较强的矿物被该层介质盒吸附作为第一阶段粗精矿, 未被吸附的矿浆流过内层环介质盒进入外层环介质盒, 矿浆中磁性较弱的矿物被该层介质盒吸附作为第二阶段粗精矿, 流过外层环介质盒的非磁性矿物作为尾矿通过底槽管路导出; 内、外层介质盒吸附的磁性物随着分选环转动, 由分选区域进入卸矿区, 分别在内层、外层冲洗水的作用下, 一起进入精矿斗作为最终磁性物产品, 从而实现矿浆中磁性物与非磁性物的分离。



1—磁系框架; 2—激磁线圈; 3—左磁极头; 4—分选腔体; 5—水平磁力线; 6—右磁极头

图 4 水平磁系磁场示意图

Fig. 4 Schematic diagram of horizontal magnetic field system

1.3 优化改造后磁选机磁场特征

以激磁电流 1 300 A 时磁极间背景磁场强度为例, 改进后的水平磁场高梯度磁选机外层环在分选空间的区域不变, 此时, 其处于背景磁场强度约 0.40~0.48 T 的分选区域; 新增的内层环为向内延伸部分, 处于背景磁场强度约 0.30~0.38 T 的分选区域, 改进后高梯度磁选机磁能利用率显著提升。同时, 内层环磁介质盒配置直径为 3 mm 的粗介质棒, 其外形尺寸及布置示意图见图 5, 用以吸附粗颗粒磁性强的目的矿物, 外层环磁介质盒配置直径为 2 mm 的细介质棒, 其外形尺寸及布置示意图见图 6, 用以吸附细颗粒磁性弱的目的矿物, 从而实现磁性矿物的梯级选别, 产生类似常规磁选机“一粗一扫”的作业效果, 目的矿物被捕获概率显著提高, 其回收率可得到有效保障。

2 钛铁矿选矿应用实验

改进后的高梯度磁选机应用于该选钛厂粗粒钛

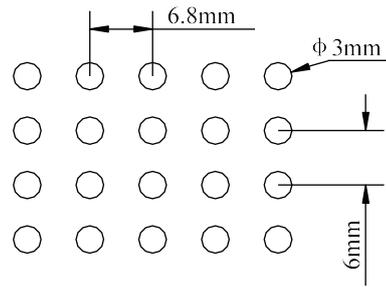


图 5 内层环用粗介质棒排布示意图

Fig. 5 Arrangement diagram of coarse medium rods

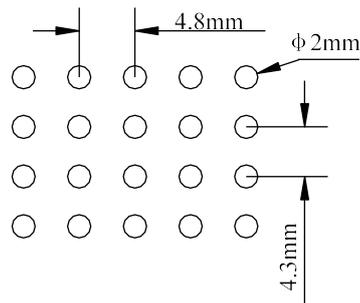


图 6 外层环用细介质棒排布示意图

Fig. 6 Arrangement diagram of fine medium rods

铁矿一段粗选工序, 给矿为选别钒钛磁铁矿后的尾矿, 其主要元素分析结果见表 1, 粒级组成见表 2、主要矿物组成见表 3, 钛赋存状态见表 4。由表 1~4 可知, 给

表 1 给矿主要元素分析结果 /%

Table 1 Main element analysis results of feeding

元素	TFe	TiO ₂	V ₂ O ₅	S	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
含量	21.55	10.42	0.20	0.39	4.76	6.27	18.74	32.63

表 2 给矿粒级筛分结果

Table 2 Sieve analysis results of feeding

粒级/mm	产率/%	TiO ₂ 品位/%	TiO ₂ 分布率/%
+0.30	13.89	5.28	7.04
-0.30+0.20	18.68	9.36	16.78
-0.20+0.10	31.84	11.36	34.71
-0.10+0.074	7.45	14.31	10.23
-0.074	28.14	11.57	31.24
合计	100.00	10.42	100.00

表 3 给矿主要矿物组成 /%

Table 3 Main mineral component results of feeding

矿物名称	钛铁矿	钒钛磁铁矿	褐铁矿	磁黄铁矿	黄铁矿
含量	14.98	0.41	0.81	0.67	0.24
矿物名称	黄铜矿	绿帘石	橄榄石	钛普通辉石	角闪石
含量	0.04	0.52	17.17	5.05	7.09
矿物名称	绿泥石	斜长石	石英	尖晶石	其他
含量	6.28	24.62	21.68	0.37	0.07

表 4 钛在给矿中的赋存状态
Table 4 Equilibrium distribution of TiO₂ in feeding

矿物名称	含量	TiO ₂ 品位	TiO ₂ 分布率
钛铁矿	14.98	52.64	75.68
钒钛磁铁矿	0.41	11.14	0.44
褐铁矿	0.81	1.93	0.15
磁黄铁矿	0.67	/	/
非磁性脉石 (斜长石、石英等)	46.41	2.43	10.82
磁性脉石 (橄榄石、辉石、角闪石等)	37.72	3.57	12.91
合计	100.00	10.42	100.00

矿中主要含钛矿物为原生钛铁矿, TiO₂ 品位 10.42%, 钛铁矿理论 TiO₂ 品位 52.64%、回收率 75.68%。

给矿中主要有用矿物为钛铁矿, 脉石矿物复杂, 主要有橄榄石、钛普通辉石、角闪石、绿泥石、斜长石、石英等。原矿粒度粗细适中, +0.10 mm 粒级产品较粗, TiO₂ 分布率为 58.53%, -0.10 mm 粒级产品较细, TiO₂ 分布率为 41.47%。粗粒级产品中目的矿物适宜直径大的介质棒回收, 细粒级产品中目的矿物适宜直径小的介质棒回收, 与改进后的内、外环介质棒配置相匹配。

对给矿主要考察磁场强度、立环转速、冲程、冲次、给矿量对分选效果的影响, 获得适宜分选条件后, 进行了长效考察及对比实验, 取得了较好应用效果。实验流程见图 7。

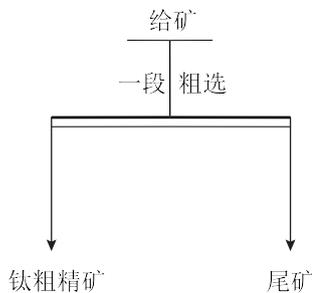


图 7 实验工艺流程
Fig. 7 Experimental flowsheet

2.1 磁场强度

在给矿量 140 t/h、立环转速 4.8 r/min、冲程 0 mm、冲次 0 r/min 条件下, 进行了磁场强度条件实验, 实验结果见图 8。

由图 8 结果可知, 磁场强度由 0.25 T 增加到 0.45 T 时, 钛粗精矿 TiO₂ 品位缓慢降低, TiO₂ 回收率快速增加, 之后继续增加磁场强度, 钛粗精矿 TiO₂ 品位快速降低, 但 TiO₂ 回收率增加缓慢, 因此, 综合考虑钛粗精矿 TiO₂ 品位和回收率, 磁场强度以 0.45 T 为宜。

2.2 立环转速

在给矿量 140 t/h、磁场强度为 0.45 T、冲程 0 mm、

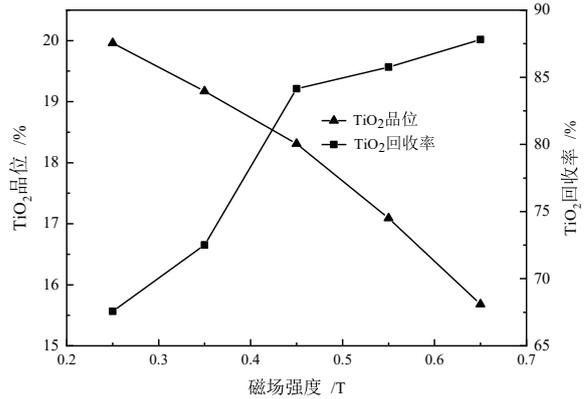


图 8 不同磁场强度对钛铁矿磁选的影响
Fig. 8 Different magnetic field intensity on ilmenite magnetic separation

冲次 0 r/min 条件下, 进行了立环转速分别为 2.4、3.5、4.8、6.2、7.3 的条件实验, 实验结果见图 9。

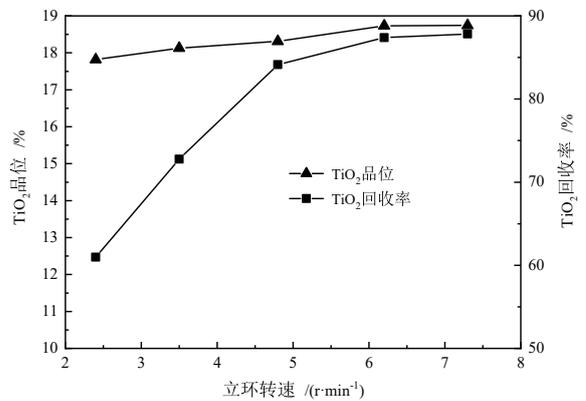


图 9 不同立环转速对钛铁矿磁选的影响
Fig. 9 Different vertical rings speed on ilmenite magnetic separation

图 9 结果表明, 随着立环转速的增加, 钛粗精矿的 TiO₂ 品位较接近, 变化小, 当立环转速从 2.5 r/min 提高到 6.2 r/min 时, 钛粗精矿钛回收率快速增加, 再增加转速, 钛粗精矿 TiO₂ 回收率趋于稳定, 因此, 立环转速以 6.2 r/min 为宜, 同时, 结合生产实际, 考虑主轴载荷等因素, 不宜再增加转速。

2.3 冲程、冲次

在给矿量 140 t/h、磁场强度 0.45 T、立环转速 6.2 r/min 条件下, 进行了不同冲程、冲次条件实验, 试验结果见表 5。

由表 5 结果可知, 冲程、冲次越大 TiO₂ 回收率损失越大, 但能适当提高 TiO₂ 品位, 综合考虑钛粗精矿的 TiO₂ 品位及回收率, 实验适宜小冲程和小冲次, 因此, 冲程为 10 mm、冲次为 120 r/min 较适宜。

2.4 给矿量

在磁场强度 0.45 T、立环转速 6.2 r/min、冲程

表 5 不同冲程、冲次条件下钛粗精矿指标

Table 5 Concentrate indexes under different stroke and punching conditions

冲程/mm	冲次/(r·min ⁻¹)	产品	产率/%	TiO ₂ 品位/%	TiO ₂ 回收率/%
0	0	钛粗精矿	48.63	18.73	87.38
		尾矿	51.37	2.56	12.62
		给矿	100.00	10.42	100.00
10	120	钛粗精矿	47.68	18.95	86.70
		尾矿	52.32	2.65	13.30
		给矿	100.00	10.42	100.00
10	270	钛粗精矿	42.76	19.22	78.86
		尾矿	57.24	3.85	21.14
		给矿	100.00	10.42	100.00
20	120	钛粗精矿	44.69	19.12	82.01
		尾矿	55.31	3.39	17.99
		给矿	100.00	10.42	100.00
20	270	钛粗精矿	40.25	19.67	75.98
		尾矿	59.75	4.19	24.02
		给矿	100.00	10.42	100.00

10 mm、冲次 120 r/min 条件下进行了不同给矿量条件实验, 实验结果见图 10。

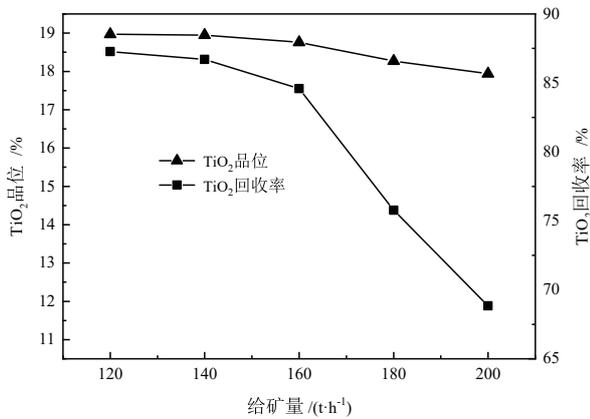


图 10 不同给矿量对钛铁矿磁选的影响

Fig. 10 Different feed on ilmenite magnetic separation

图 10 结果表明, 随着给矿量的增加, 钛粗精矿 TiO₂ 品位、回收率均降低, 从 120 t/h 到 160 t/h 时, 钛粗精 TiO₂ 钛品位和回收率缓慢降低, 再增加给矿量, 钛粗精矿 TiO₂ 回收率快速降低, 损失大, 因此, 给矿量以 160 t/h 为宜。

2.5 对比实验研究

改进后的 SSS-II-2750 双层环水平磁场高梯度磁选机在给矿量 160 t/h、磁场强度 0.45 T(激磁电流 1 300 A 时)、立环转速 6.2 r/min、冲程 10 mm、冲次 120 r/min、额定激磁功率 78 kW 条件下, 进行了近 2 个月的长效考察实验, 并对 52 班样结果进行了统计。同时与未改进的 SSS-II-2750 水平磁场高梯度磁选机以及某相同规格垂直磁场高梯度磁选机进行了对比实验研究。实验结果见表 6。

表 6 结果表明, 三种设备中水平磁场高梯度磁选

表 6 三种磁选设备对比实验研究结果

Table 6 Test results for three types of HGMS

设备类型	产品	产率/%	TiO ₂ 品位/%	TiO ₂ 回收率/%	设备激磁功耗/(kW·h·t ⁻¹)
改进后的 SSS-II-2750	钛粗精矿	48.18	18.55	85.78	0.49
	尾矿	51.82	2.86	14.22	
	给矿	100.00	10.42	100.00	
未改进的 SSS-II-2750	钛粗精矿	43.28	18.75	77.35	0.78
	尾矿	56.72	4.19	22.65	
	给矿	100.00	10.49	100.00	
某垂直磁系高梯度磁选机	钛粗精矿	44.74	16.45	72.15	0.55
	尾矿	55.26	5.14	27.85	
	给矿	100.00	10.20	100.00	

机改进前后的钛粗精矿 TiO_2 品位接近,但均比垂直磁场高梯度磁选机获得的钛粗精矿产品高 2 个百分点以上;改进后的 SSS-II-2750 水平磁场高梯度磁选机获得的钛粗精矿 TiO_2 回收率最高为 85.78%,比其他两种设备分别高 8.43、13.63 百分点;同时,三种设备的激磁能耗中改进后的 SSS-II-2750 水平磁场高梯度磁选机最低,为 0.49 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$,与处理量相近的垂直磁场高梯度磁选机相比节约能耗效果更好。因此,综合考虑分选指标、节约能耗效果,改进后的 SSS-II-2750 水平磁场高梯度磁选机更具优势。

3 结论

(1)对 SSS-II-2750 水平磁场高梯度磁选机分选环系统进行了改进,即增加分选环厚度,并分成内外双层环,对内层环配置粗介质的介质盒以吸附粗粒、磁性强的目的矿物,对外层环配置细介质的介质盒以吸附细粒、微细粒磁性较弱的目的矿物,实现梯级分选,同时,内外环均配置卸矿装置,分层卸矿,有效保障了目的矿物的卸矿率。

(2)改进后的水平磁场高梯度磁选机应用于攀西地区某选钛厂粗粒钛铁矿一段粗选工序,通过条件实验获得了适宜分选条件,即磁场强度 0.45 T,立环转速 6.2 r/min ,冲程 10 mm,冲次 120 r/min ,给矿量 160 t/h 。

(3)对比实验研究表明,改进后的水平磁场高梯度磁选机在原矿 TiO_2 品位 10.42% 条件下,获得的粗精矿综合指标为 TiO_2 品位 18.55%,回收率 85.78%,其品位与其他两种设备获得的粗精矿相近,但回收率分别高 8.43、13.63 百分点;同时比较三种设备的激磁能耗,改进的水平磁场高梯度磁选机最低,为 0.49 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$,表明该设备处理量大且能耗低,选别效果显著。

参考文献:

- [1] 熊大和. SLon 立环脉动高梯度磁选机在多种金属选矿中的应用[J]. 矿产保护与利用, 2013(6): 51-56.
XIONG D H. The application of SLon VPHGMS for processing several metallic ores[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2013(6): 51-56.
- [2] 赵明, 黄雪平, 王丰雨. SSS 新型高梯度磁选机的改进[J]. 金属矿山, 2011(4): 134-136.
ZHAO M, HUANG X P, WANG F Y. Development of SSS type high gradient magnetic separator[J]. Metal Mine, 2011(4): 134-136.
- [3] 吴城材, 张超达, 钟森林, 等. ZQS 型周期式高梯度磁选机在非金属矿除杂提质中的应用[J]. 材料研究与应用, 2017, 11(1): 47-50.
WU C C, ZHANG C D, ZHONG S L, et al. Application of ZQS-type circle high gradient magnetic separator in ironremoval purification of non-metallic mine[J]. Materials Research and Application. 2017, 11(1): 47-50.
- [4] 熊大和. SLon-3000 高梯度磁选机的研制与应用[J]. 金属矿山, 2013(12): 100-104.
XIONG D H. Development and application of SLon-3000 vertical ring and pulsating high gradient magnetic separator[J]. Metal Mine, 2013(12): 100-104.
- [5] 洪家凯. SLon 立环脉动高梯度磁选机在金属选矿中的应用[J]. 矿产保护与利用, 1997(6): 20-22.
HONG J K. Application of SLon vertic-ring pulsating HGMS in dressing of metallic ores[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 1997(6): 20-22.
- [6] 王丰雨, 杨招君, 罗荣飞, 等. 采用 ZQS 高梯度磁选机提高超细粒级(-38 μm)钛铁矿回收效果[J]. 金属矿山, 2019(8): 93-97.
WANG F Y, YANG Z J, LUO R F, et al. Recovery increase of -38 μm ultra fine ilmenite using ZQS high gradient magnetic separator[J]. Metal Mine, 2019(8): 93-97.
- [7] 刘建国, 张军, 汤玉和. 重、磁预选工艺在几种典型钛铁矿选矿工艺中的应用[J]. 矿产保护与利用, 2018(1): 96-100.
LIU J G, ZHANG J, TANG Y H. Application of gravity and magnetic preconcentration process in the mineral processing of several typical ilmenite ores[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018(1): 96-100.
- [8] 李萌, 白丽梅, 谢杰. 从黑山铁矿中回收钛铁矿的试验研究[J]. 矿产保护与利用, 2013(4): 29-32.
LI M, BAI L M, XIE J. Experimental study on flotation of ilmenite from Heishan iron ore[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2013(4): 29-32.
- [9] 闫伟平, 李维斯, 杨耀辉, 等. 攀西地区超微细粒级钛铁矿资源选矿工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2023(4): 55-61.
YAN W P, LI W S, YANG Y H, et al. Research on mineral processing technology of ultrafine ilmenite resources in Panzhihua-Xichang area[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2023(4): 55-61.
- [10] 汤玉和. SSS-II 湿式双频脉冲双立环高梯度磁选机的研制[J]. 金属矿山, 2004(3): 37-39.
TANG Y H. Development of SSS-II wet type double frequency pulsation double vertical ring high gradient magnetic separator[J]. Metal Mine, 2004(3): 37-39.
- [11] 赵明, 何健全, 许丽敏. SSS-II 型立环脉动高梯度磁选机磁介质棒排布方式的研究[J]. 矿山机械, 2009, 37(19): 97-99.
ZHAO M, HE J Q, XU L M. Research on the arrangement style of magnetic rod of the SSS-II type vertical ring and pulsating high gradient magnetic separator[J]. Mining & Processing Equipment, 2009, 37(19): 97-99.
- [12] 张军. SSS-II 高梯度磁选机回收微细粒钛铁矿的研究[J]. 材料研究与应用, 2012, 6(3): 195-197.
ZHANG J. Research on recycling micro-grained ilmenite using SSS-II HGMS [J]. Materials Research and Application, 2012, 6(3): 195-197.
- [13] 王丰雨, 谭世国, 赵明, 等. SSS-II 水平磁系场高梯度磁选机及其在密地选钛厂的应用[J]. 金属矿山, 2014(2): 122-126.
WANG F Y, TAN S G, ZHAO M, et al. Development of SSS-II horizontal magnetic field high gradient magnetic separator and its application in Panzhihua Midi titanium plant[J]. Metal Mine, 2014(2): 122-126.
- [14] 张军, 汤玉和, 李文博. SSS-II 型高梯度磁选机在承德钛铁矿生产中的应用[J]. 有色金属(选矿部分), 2011 年(增刊 1): 174-176+183.

- ZHANG J, TANG Y H, LI W B. Application of SSS-II high gradient magnetic separator in Chengde Ti-Fe mine[J]. *Nonferrous Metals (Mineral Processing Section)*, 2011 (Supplement 1): 174-176+183.
- [15] 胡厚勤, 张红英. 水平磁系高梯度磁选机回收攀西钽铁矿试验研究[J]. *钢铁钒钛*, 2019, 40(6): 73-76+128.
- HU H Q, ZHANG H Y. Experimental study on the recovering ilmenite from Iron tailings in Panzhihua-Xichang area by high gradient magnetic separator with a horizontal magnetic system[J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 2019, 40(6): 73-76+128.
- [16] 孟聪, 李丽匣, 申帅平, 等. 某钽铁矿分级磁选分级浮选试验研究[J]. *矿产保护与利用*, 2017(1): 59-63.
- MENG C, LI L X, SHEN S P, et al. Experiments on classified magnetic separation-classified flotation for a ilmenite[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2017(1): 59-63.
- [17] 邓建, 杨耀辉, 严伟平, 等. 攀西某超微细粒物料中钽铁矿选矿回收实验研究[J]. *矿产综合利用*, 2023(1): 27-34.
- DENG J, YANG Y H, YAN W P, et al. Recovery of ilmenite from an ultrafine fine particle material in Panxi[J]. *Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2023(1): 27-34.
- [18] 杨永涛, 张渊, 张俊辉. 四川某钽钒磁铁矿选铁尾矿选钽试验研究[J]. *矿产保护与利用*, 2012(2): 32-36.
- YANG Y T, ZHANG Y, ZHANG J H. Experimental research on ilmenite beneficiation for tailings after titanomagnetite recovery from a vanadic titanomagnetite ore in Sichuan[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2012(2): 32-36.
- [19] 张松, 文书明, 刘建, 等. 微细粒钽铁矿选矿技术研究进展[J]. *矿产保护与利用*, 2019, 39(1): 131-137.
- ZHANG S, WEN S M, LIU J, et al. Research on mineral processing status of fine ilmenite[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2019, 39(1): 131-137.
- [20] 王丽娟, 张超达, 陈俊明, 等. 反式水平磁场立环高梯度磁选机的研制及应用[J]. *现代矿业*, 2017(6): 165-166+170.
- WANG L J, ZHANG C D, CHEN J M, et al. Development and application of reverse horizontal magnetic field vertical ring high gradient magnetic separator[J]. *Modern Mining*, 2017(6): 165-166+170.
- [21] 徐少华, 林恬盛. 立环高梯度磁选机线圈的冷却方式与特点[J]. *现代矿业*, 2017(4): 222-224.
- XU S H, LIN T S. Cooling method and characteristics of coil of vertical ring high gradient magnetic separator[J]. *Modern Mining*, 2017(4): 222-224.
- [22] 宁宇, 储炜, 李明晶. 水平磁系高梯度磁选机精矿管堵塞原因分析与改造[J]. *现代矿业*, 2020(5): 182-184.
- NING Y, CHU W, LI M J. Cause analysis and transformation of concentrate pipe blockage of horizontal magnetic system high gradient magnetic separator[J]. *Modern Mining*, 2020(5): 182-184.

Improvement of High Gradient Magnetic Separator with Horizontal Magnetic Field and Its Application for Ilmenite in Panxi Region

LIU Jian Guo^{1,2,3,4}, DAI Huixin¹, YU Lili^{2,3,4}, FENG Jiaying^{2,3,4}, WANG Zaihua^{2,3,4}

1. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China;

2. Institute of Resources Utilization and Rare Earth Development, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510650, Guangdong, China;

3. State Key Laboratory of Separation and Comprehensive Utilization of Rare Metals, Guangzhou 510650, Guangdong, China;

4. Guangdong Key Laboratory of Mineral Resources Development and Comprehensive Utilization, Guangzhou 510650, Guangdong, China

Abstract: The High Gradient Magnetic Separator (HGMS) with a horizontal magnetic field has many characteristics, including resistance to corrosion of the magnetic system and a low propensity for the magnetic medium to become blocked. Consequently, the HGMS has a significant effect on the rough separation of ilmenite. However, the limited spacing of the magnetic system, the narrow width of the sorting ring, and the small volume of the magnetic medium result in low processing capacity and high energy consumption. Therefore, equipment improvements are necessary to enhance the processing capacity and reduce energy consumption. Based on the SSS-II-2750 horizontal magnetic field HGMS, the separation ring system was enhanced. The thickness of the separation ring was increased in the height direction of the magnetic system, and the inner and outer double rings were divided. The medium box equipped with a coarse medium rod in the inner ring adsorbed coarse grain and strong magnetic target minerals, while the medium box with a fine medium rod in the outer ring adsorbed fine grain and micro-fine grain with weak magnetic target minerals, achieving cascade sorting. At the same time, both inner and outer rings were equipped with ore unloading devices to realize layered ore unloading, effectively improving the ore unloading rate of the target minerals. The effect of the first stage roughing process of ilmenite in a titanium separation plant in the Panxi area was investigated. The improved HGMS with a horizontal magnetic field yielded titanium crude concentrates with a TiO₂ grade of 18.55% and a recovery of 85.78%, under conditions of a magnetic field strength of 0.45 T, vertical ring speed of 6.2 r/min, stroke length of 10 mm, stroke frequency of 120 r/min, ore feed rate of 160 t/h, and raw ore TiO₂ grade of 10.42%. Compared with the pre-improvement and vertical magnetic field, the improved HGMS achieved a similar titanium crude concentrate grade but increased the recovery rate by 8.43 and 13.63 percentage points, respectively. The improved HGMS with a horizontal magnetic field demonstrated a good sorting effect, and the lowest excitation energy consumption among the three devices (0.49 kWh/t). The research indicated that the improved equipment has a large processing capacity and low energy consumption, achieving the objective of equipment enhancement.

Keywords: horizontal magnetic field; HGMS; ilmenite; magnetic separation

引用格式: 刘建国, 戴惠新, 于丽丽, 冯嘉颖, 王在华. 水平磁场高梯度磁选机的改进及其在攀西某钛铁矿的应用[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(3): 109-116.

LIU Jian Guo, DAI Huixin, YU Lili, FENG Jiaying, WANG Zaihua. Improvement of high gradient magnetic separator with horizontal magnetic field and its application for ilmenite in Panxi region[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(3): 109-116.

投稿网址: <http://kcbhly.xml-journal.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn



作者简介:

刘建国, 昆明理工大学在读博士, 高级工程师, 长期从事矿产资源综合利用、固废与废水资源化利用、磁分离技术与装备研发等研究工作, 主持完成广州市科学研究重点项目 1 项、广东省科学院青年基金项目 1 项、企业委托项目 8 项, 作为主要科研人员参与完成国家级、省市级科研项目 8 项, 企业委托项目 12 项, 发表论文 18 篇, 其中 SCI 论文 7 篇, 获授权国家发明专利 6 件、实用新型专利 10 件, 获中国有色金属工业科学技术奖二等奖 2 项。



通信作者简介:

戴惠新, 博士, 教授, 昆明理工大学博士生导师, 中国矿业联合会选矿委员会委员, 中国有色金属学会冶金设备学术委员会选矿设备专业学术委员会委员, 曾赴澳大利亚访问。长期从事矿物加工程专业教学与科研工作, 主要从事磁电选矿理论与设备、资源综合利用及磨矿理论与工艺等研究, 主持或参与完成国家级、省部级、国际合作、企业委托等项目 110 余项, 发表 SCI、EI 等论文 120 余篇, 出版专著 3 部, 获专利 30 多项, 获得省部级奖 3 项。