doi: 10.20239/j.issn.1671-9492.2026.08.028

云南某有色金属伴生铁尾矿氢基矿相转化工艺研究

黄 瑞[1,2,3],余裕森[1,2,3],李文博[1,2,3],唐志东[1,2,3],谢恩龙[4],高起方[5]

(1. 东北大学 资源与土木工程学院,沈阳 110819;
2. 数字钢铁全国重点实验室,沈阳 110819;
3. 难采选铁矿资源高效开发利用技术国家地方联合工程研究中心,沈阳 110819;
4. 云南黄金矿业集团珑阳矿业有限公司,云南 保山 678000;
5. 云南黄金矿业集团股份有限公司,昆明 650200)

摘 要: 伴随高品位铁矿资源持续消耗,低品位、组成复杂且难选铁矿资源的高效利用愈发重要。针对云南某有色金属伴生铁尾矿开展研究,该尾矿原矿铁品位为14.13%,含铁矿物以菱铁矿和褐铁矿为主,脉石矿物则以石英为主,采用常规选矿方法难以直接得到合格铁精矿。首先通过强磁选对尾矿进行预富集,得到铁品位为21.72%的预富集产物;在此基础上,进一步实施氢基矿相转化—磁选试验,系统考察焙烧温度、焙烧时间、H_2浓度、焙烧后磨矿细度及磁场强度对分选效果的影响。同时结合SEM、XRD及VSM等手段,对样品的微观结构演变、矿物物相转化行为和磁性变化特征等进行分析。结果表明:当给料中-0.038 mm粒级含量占50%,焙烧温度为580 ℃、焙烧时间为30 min、H_2浓度为40%、焙烧产品磨矿细度-0.038 mm粒级含量占70%、磁场强度为0.132 T时,所得铁精矿中铁品位和铁回收率分别达到61.39%和65.11%。研究结果可为有色金属伴生难选铁尾矿的资源化利用提供试验依据。

关键词: 菱铁矿;褐铁矿;氢基矿相转化;磁选

中图分类号: TD981 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-9492(2026)08-0317-08

Research on Hydrogen-Based Mineral Phase Transformation Process for Iron Tailings Associated with Non-ferrous Metals in Yunnan

Huang Rui[1,2,3], Yu Yusen[1,2,3], Li Wenbo[1,2,3], Tang Zhidong[1,2,3], Xie Enlong[4], Gao Qifang[5]

(1. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China;
2. State Key Laboratory of Digital Steel, Shenyang 110819, China;
3. National-local Joint Engineering Research Center of High-efficient Exploitation Technology for Refractory Iron Ore Resources, Shenyang 110819, China;
4. Longyang Mining Co., Ltd., Yunnan Gold Mining Group Co., Ltd., Baoshan 678000, Yunnan, China;
5. Yunnan Gold Mining Group Co., Ltd., Kunming 650200, China)

Abstract: With the continuous consumption of high-grade iron ore resources, the efficient utilization of low-grade, complex, and refractory iron ore resources is becoming increasingly important. A study was conducted on a nonferrous-metal-associated iron tailings from Yunnan. The raw tailings had an iron grade of 14.13%, with siderite and limonite as the main iron-bearing minerals and quartz as the predominant gangue mineral. It is difficult to directly obtain a qualified iron concentrate using conventional beneficiation methods. First, the tailings were pre-concentrated by high-intensity magnetic separation, yielding a pre-concentrate with an iron grade of 21.72%. On this basis, hydrogen-based mineral phase transformation-magnetic separation tests were carried out to systematically

收稿日期: 2026-04-20
基金项目: 国家自然科学基金区域创新发展联合基金重点项目(U24A2093)
作者简介: 黄 瑞(2002-),男,湖南常德人,硕士,主要从固废资源利用工作。
通信作者: 李文博(1985-),男,内蒙古赤峰人,博士,教授,博士生导师,主要从事复杂难选矿产资源清洁高效利用。

investigate the effects of roasting temperature, roasting time, H_2 concentration, grinding fineness after roasting, and magnetic field intensity on the separation performance. Meanwhile, the microstructural evolution, mineral phase transformation behavior, and magnetic property changes of the samples were analyzed by means of SEM, XRD, and VSM. The results showed that when the feed contained 50% −0.038 mm material, the roasting temperature was 580 ℃, the roasting time was 30 min, the H_2 concentration was 40%, the roasted product was ground to 70% passing 0.038 mm, and the magnetic field intensity was 0.132 T, the obtained iron concentrate achieved an iron grade of 61.39% and an iron recovery of 65.11%. The findings can provide an experimental basis for the resource utilization of refractory iron tailings associated with nonferrous metals.

Key words: siderite; limonite; hydrogen mineral phase transformation; magnetic separation

0 引言

我国铁矿资源总量虽然丰富,但普遍存在品位偏低、嵌布粒度细以及矿物组成复杂等问题,导致开发利用难度较大[1]。其中,褐铁矿和菱铁矿均属于典型的复杂难选弱磁性铁矿物;受矿物性质差异及嵌布关系影响,仅依靠重选或浮选等单一工艺往往难以兼顾精矿品位与回收率[2-4]。相比之下,磁化焙烧—磁选工艺能够通过选择性增强铁矿物与脉石之间的磁性差异,因此成为难选铁矿高效利用的重要技术路线之一[5-7]。通过磁化焙烧不仅有助于脱除矿物中结晶水、改善矿粒结构与磨矿性能,而且可使弱磁性含铁矿物转变为强磁性矿物,从而提升后续磁选作业效果[8-11]。

现有研究表明,磁化焙烧在菱铁矿、褐铁矿及相关尾矿资源利用中具有良好应用前景。周廷波等[12]采用微波磁化焙烧处理菱铁矿,获得铁品位为61.62%、回收率为82.87%的铁精矿。姜亚雄等[13]针对含菱铁矿尾矿,采用“强磁选—流态化磁化焙烧—弱磁选”流程回收铁,磁选精矿铁品位达到60.51%,磁选作业铁回收率为71.13%。孔德翠等[14]以某赤褐铁矿为对象,利用悬浮磁化焙烧—磁选工艺取得64.42%的精矿品位和94.49%的铁回收率。随着绿色低碳冶金理念不断深化,以H_2替代煤或CO等传统还原剂已逐渐成为降低碳排放的重要方向。基于悬浮磁化焙烧技术的发展,东北大学进一步形成了氢基矿相转化工艺,为复杂难选铁资源的高效、低碳利用提供了新的技术支撑。

本研究以云南某有色金属伴生铁尾矿为研究对象,在查明原料矿物学特征的基础上,构建了“强磁预富集—氢基矿相转化—弱磁选”的试验流程。重点分析“氢基矿相转化—弱磁选”试验条件因素对精矿品位及回收率的作用规律,并结合相关表征结果讨论焙烧过程中物相演变、微观结构变化及磁性增强机制。

1 试样原料与方法

1.1 试验原料

试验原矿取自云南省鹤庆县某有色金属伴生铁尾矿,原矿全铁品位为14.13%。经磁选预富集后获得预富集精矿,其化学组成见表1,铁物相分布见表2。由表1可知,预富集样品TFe为21.72%,FeO含量为19.29%;脉石组分以SiO_2、CaO和Al_2O_3为主,含量分别为34.72%、6.51%和6.86%。由表2可知,铁主要赋存于赤(褐)铁矿和菱铁矿中,两者铁分布率分别为43.73%和45.15%;硫化铁和硅酸铁所占比例相对较低,分布率分别为4.64%和5.01%。

表1 原矿化学成分分析

Table 1 Chemical composition analysis of raw ore /%

成分	TFe	FeO	MgO	CaO	SiO_2	Al_2O_3
含量	21.72	19.29	2.71	6.51	34.72	6.86

表2 原矿铁物相分析

Table 2 Iron phase analysis of raw ore /%

铁物相	含量	分布率
磁性中的铁	0.31	1.47
碳酸铁中的铁	9.54	45.15
赤(褐)铁矿中的铁	9.24	43.73
硫化铁中的铁	0.98	4.64
硅酸铁中的铁	1.06	5.01
总铁	21.13	100.0

采用X射线衍射对该样品的矿物组成进行了测试,结果见图1。分析表明,原矿中的含铁元素矿物以褐铁矿和菱铁矿为主,脉石矿物主要为石英;其余矿物由于含量较低,未在XRD图谱中表现出明显衍射特征。

1.2 试验方法

在实验室管式焙烧炉中进行氢基矿相转化试验。每次称取30 g试样置于焙烧管内,先以N_2置换炉内

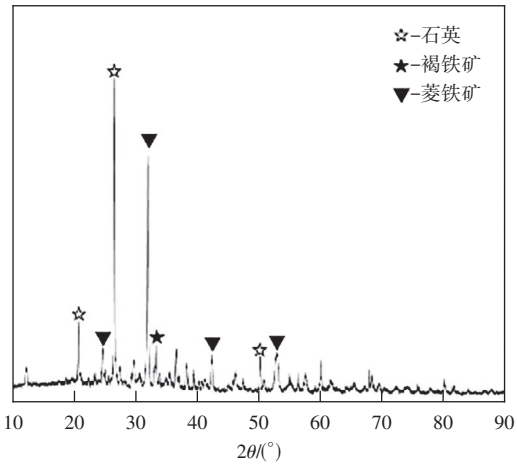


图 1　原矿 XRD 分析

Fig. 1　XRD analysis of raw ore

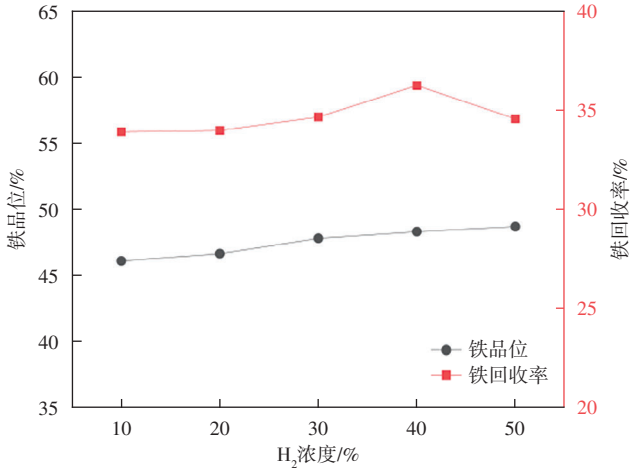


图 2　H_2 浓度对磁选的影响

Fig. 2　Effects of H_2 concentration on magnetic concentrate

空气，再升温至设定温度；温度稳定后，通入设定配比的还原气体进行焙烧反应。焙烧结束后停止还原气体供给，取出焙烧管，并继续通入 N_2 清除残余还原性气体，随后经水冷降至室温，取出焙烧产物备用。

随后称取 15 g 焙烧产物，利用 XBM 型三辊四筒棒磨机进行磨矿处理；磨矿后样品充分混匀，再置入 XCSG 型磁选管开展磁选试验。分选得到的精矿和尾矿分别进行烘干、称量及铁品位测定，据此计算铁回收率。

2　试验与讨论

2.1　氢基矿相转化试验

2.1.1　H_2 浓度的影响

H_2 浓度直接影响氢基矿相转化反应程度及产物磁性。浓度偏低时，反应速率较慢，不利于弱磁性含铁矿物向强磁性相充分转化；浓度过高则可能引发过还原，使部分产物生成不利于磁选回收的弱磁性浮氏体。因此，有必要确定适宜的 H_2 浓度范围。基于此，在给矿粒度 −0.038 mm 占 50%、焙烧时间为 20 min、焙烧温度为 500 ℃、总气量为 500 mL/min、焙烧产品磨矿细度为 −0.038 mm 占 50%、磁场强度为 0.160 T 的条件下，开展 H_2 浓度条件试验，试验结果见图 2。结果表明，当 H_2 浓度升高，精矿铁品位先小幅提升后趋于平稳；当 H_2 浓度为 40% 和 50% 时，精矿品位分别为 48.36% 和 48.74%。与此同时，铁回收率由 H_2 浓度为 20% 条件下的 33.90% 上升至浓度为 40% 条件下的 36.22%，而在 H_2 浓度为 50% 时回收率又有所下降，此时回收率为 34.56%。综合考虑，确定适宜 H_2 浓度为 40%，此时获得品位和回收率分别为 48.36% 和 36.22% 的磁选精矿。

2.1.2　焙烧温度的影响

在给矿粒度 −0.038 mm 占 50%、焙烧时间为 20 min、H_2 浓度为 40%、总气量为 500 mL/min、焙烧产品粒级含量为 −0.038 mm 占 50%、磁场强度为 0.160 T 条件下，开展焙烧温度条件试验，结果见图 3。由图 3 可知，当温度由 500 ℃升至 580 ℃，精矿铁品位持续增加，由 48.36% 提高到 49.74%，在 600 ℃时铁品位为 49.98%；铁回收率随温度升高持续上升，在 580 ℃达到最大值 49.08%，继续升温至 600 ℃后，回收率反而下降。综合考虑，580 ℃更有利于获得较优分选指标，因此确定最佳焙烧温度为 580 ℃，此时获得的铁精矿品位为 49.74%，回收率为 49.08%。

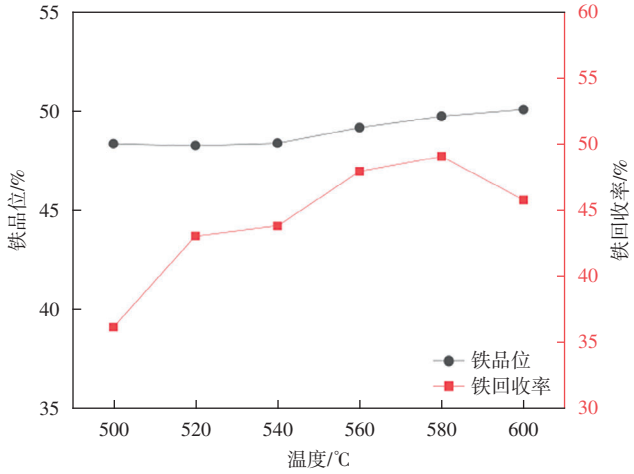


图 3　焙烧温度对磁选的影响

Fig. 3　Effects of roasting temperature on magnetic concentrate

2.1.3 焙烧时间的影响

在给矿粒度为 −0.038 mm 占 50%、焙烧温度为 580 ℃、H_2 浓度为 40%、总气量为 500 mL/min、焙烧产品细度 −0.038 mm 占 50.0%、磁场强度 0.160 T 条件下，考察焙烧时间对分选效果的影响，结果见图 4。结果表明，延长焙烧时间有利于提高精矿铁品位，但时间过长后提升效果减弱并出现下降趋势，在 30 min 时磁选产品铁品位达到最高为 52.54%；与此同时，铁回收率在 10～30 min 范围内持续上升，此时回收率为 57.49%，30 min 后基本趋于稳定。综合两项指标，30 min 可作为较优焙烧时间，此时获得的铁精矿品位为 52.54%，回收率为 57.49%。

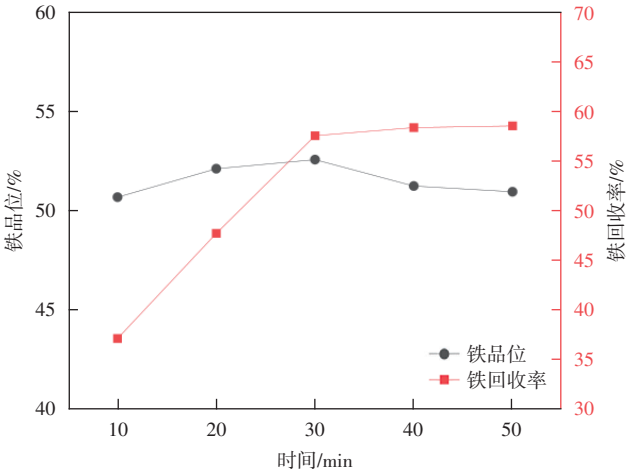


图 4 焙烧时间对磁选的影响

Fig. 4 Effects of roasting time on magnetic concentrate

2.2 磁选试验

2.2.1 磨矿细度的影响

在给矿粒度 −0.038 mm 占 50%、上述最佳氢基矿相转化工艺条件及磁场强度 0.160 T 条件下，对焙烧产品磨矿细度进行了考察，试验结果见图 5。

由图 5 可知，当焙烧产品中 −0.038 mm 粒级含量由 50% 提高至 70% 时，精矿铁品位和铁回收率同步改善，分别达到 58.59% 和 64.03%，其中回收率达到最高值。若继续提高磨矿细度，精矿品位仍缓慢上升，并在 −0.038 mm 占 90% 时达到 60.41%，但铁回收率明显下降。说明磨矿过细会在一定程度上削弱综合分选效果，因此选取 −0.038 mm 占 70% 作为较优磨矿细度，此时可获得品位和回收率分别为 58.59% 和 64.03% 的磁选精矿。

2.2.2 磁场强度的影响

在给矿粒度 −0.038 mm 占 50%、最佳氢基矿相转化工艺条件及焙烧产品磨矿细度为 −0.038 mm 占 70% 的条件下，开展磁场强度条件试验，结果见图 6。

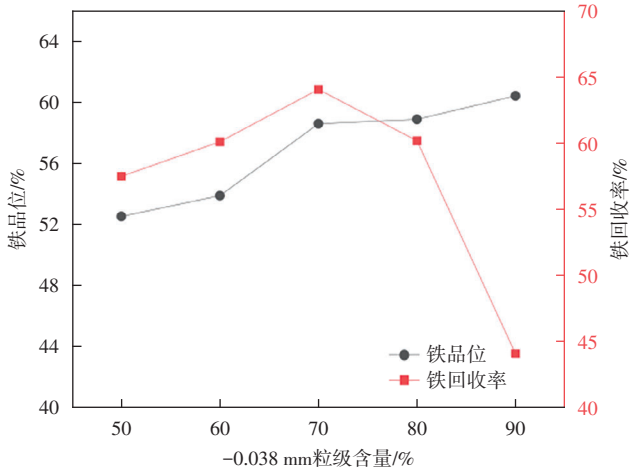


图 5 磨矿细度对磁选的影响

Fig. 5 Effects of grinding fineness on magnetic concentrate

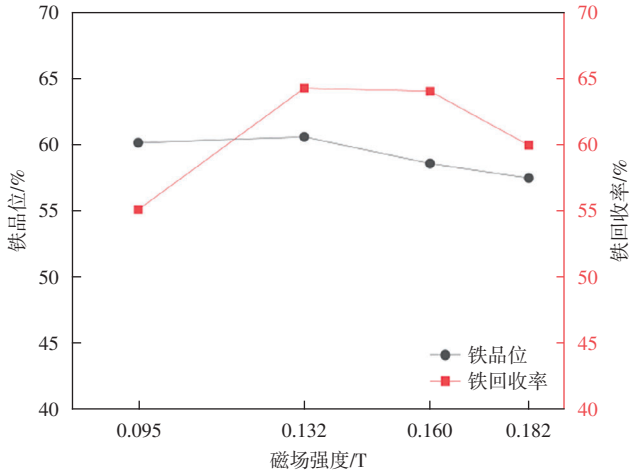


图 6 磁场强度对磁选的影响

Fig. 6 Effects of magnetic field strength on magnetic concentrate

结果表明，磁场强度由 0.095 T 提高到 0.132 T 时，精矿铁品位由 60.05% 提升至 61.39%，铁回收率由 55.03% 增加至 65.11%；当磁场强度进一步增大到 0.182 T 后，两项指标均有所下降。说明适度提高磁场强度有利于磁性铁矿物回收，但过高磁场强度会降低分选指标。综合分析，0.132 T 为本试验较优磁场强度，此时所获得的铁精矿品位为 61.39%、回收率为 65.11%。

2.3 焙烧产品分析

为揭示焙烧前后矿物物相组成及性质变化，对原矿以及最佳氢基矿相转化—磁选工艺条件下获得的

焙烧产品、磁选精矿和磁选尾矿进行了XRD、VSM和SEM-EDS表征，重点分析其微观形貌、物相演变及磁性变化特征。

2.3.1　XRD物相分析

对最佳氢基矿相转化—磁选工艺条件下所得焙烧产品、磁选精矿和磁选尾矿进行了XRD测试，结果见图7。与原矿XRD图谱相比，焙烧产品菱铁矿与褐铁矿衍射峰减弱、磁铁矿衍射峰增强，说明焙烧产品中主要物相转变为磁铁矿和石英(图7(a))，说明褐铁矿、菱铁矿等弱磁性含铁矿物经氢基矿相转化后生成了强磁性的磁铁矿，而石英基本未发生相变。由图7(b)和图7(c)可知，弱磁选后磁铁矿与石英实现了较为明显的分离：磁选精矿以磁铁矿为主，仅含少量石英；磁选尾矿则主要由石英组成，并伴有少量磁铁矿。这说明由于矿粒较细及脉石包裹团聚等因素，仍有少量石英进入精矿，导致分离尚未完全。

2.3.2　VSM磁性分析

对原矿、最佳氢基矿相转化—磁选工艺条件焙烧产品以及对应磁选精矿和磁选尾矿进行VSM分析测试，结果见图8。结果表明，随着外加磁场增强，各样品比磁化强度均逐步增大后趋于稳定，而比磁化系数则表现为先升高后降低。与原矿相比，焙烧产品的比磁化强度和比磁化系数均大幅提高，说明氢基矿相转化显著增强了样品磁性，也为后续磁选中磁铁矿与脉石的分离创造了条件。原矿最大比磁化系数为5.31×10^{-3} m^3/kg，而焙烧产品达到72.67×10^{-3} m^3/kg，表明原有弱磁性菱铁矿和褐铁矿已转化为强磁性磁铁矿。

2.3.3　微观结构分析

对原矿及最佳氢基矿相转化—磁选工艺条件下得到的焙烧产品、磁选精矿和磁选尾矿分别进行了SEM-EDS分析，结果见图9～12和表3。由图9、图10可知，原矿经氢基矿相转化后颗粒表面出现更多

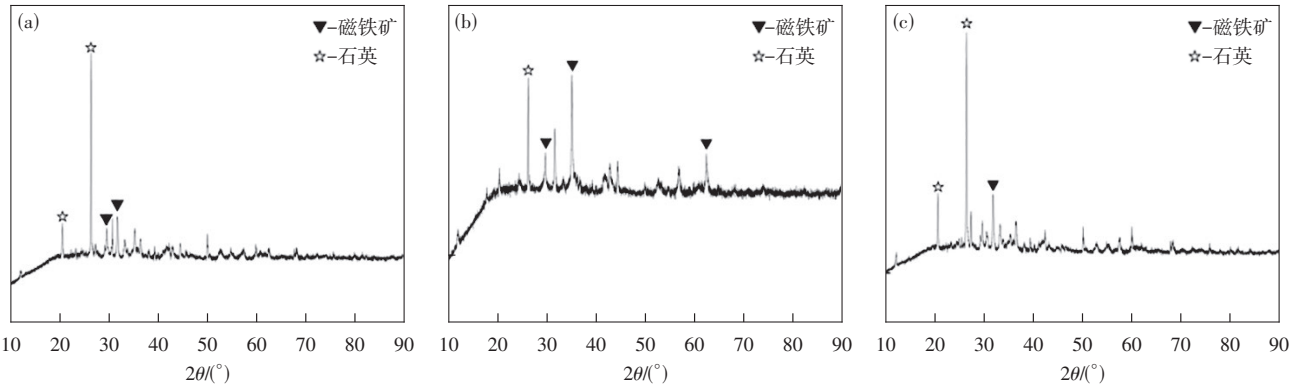


图7　最佳条件下样品XRD分析：(a)焙烧产品；(b)磁选精矿；(c)磁选尾矿

Fig. 7　XRD analysis of products under optimal roasting conditions: (a) Roasted product; (b) Magnetic concentrate; (c) Magnetic tailings

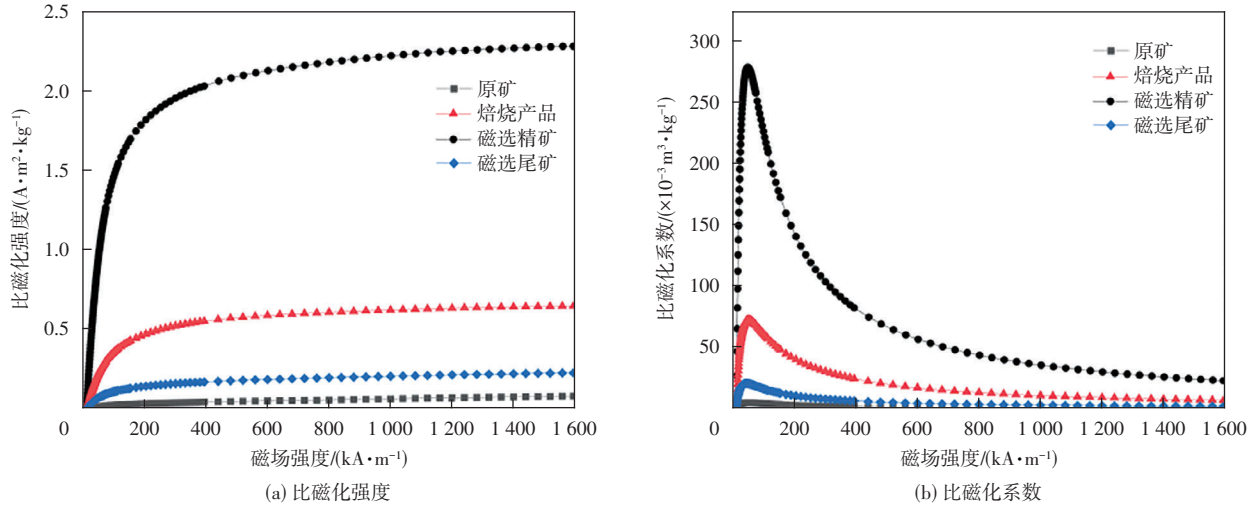


图8　产品比磁性分析

Fig. 8　Specific magnetization analysis of products

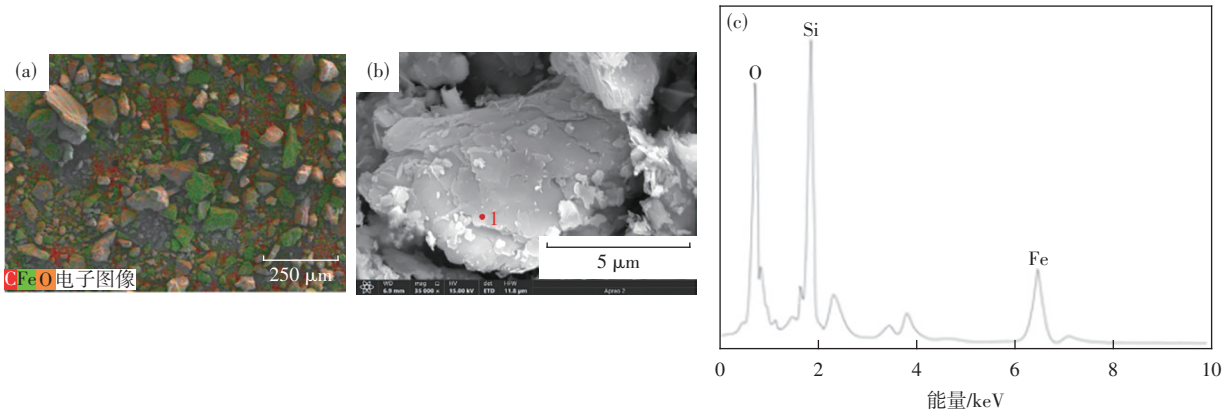


图 9 原矿扫描电镜和能谱图:(a)元素扫描图;(b)SEM 图像;(c)能谱图

Fig. 9 SEM and EDS analysis of raw ore: (a) Elemental mapping; (b) SEM image; (c) EDS spectrum

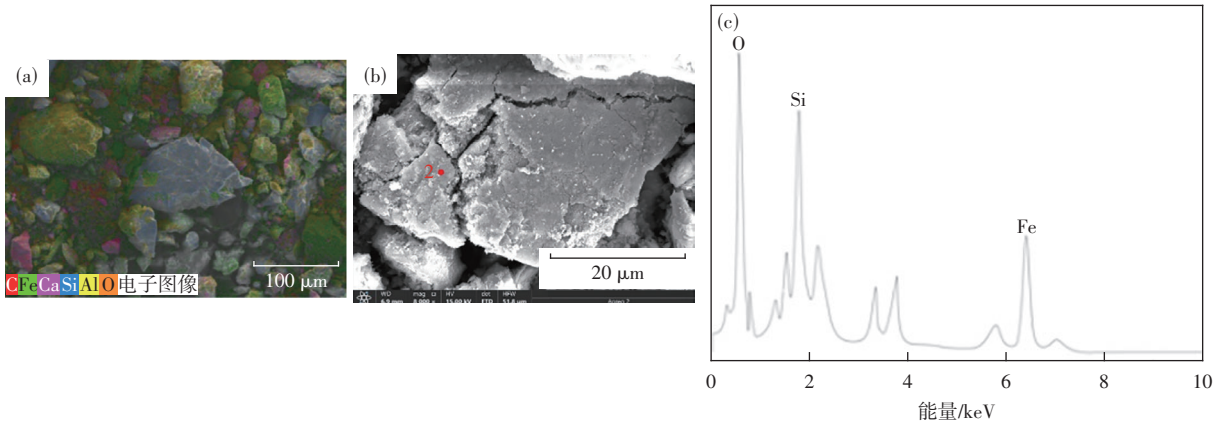


图 10 焙烧产品扫描电镜和能谱图:(a)元素扫描图;(b)SEM 图像;(c)能谱图

Fig. 10 SEM and EDS analysis of roasted product: (a) Elemental mapping; (b) SEM image; (c) EDS spectrum

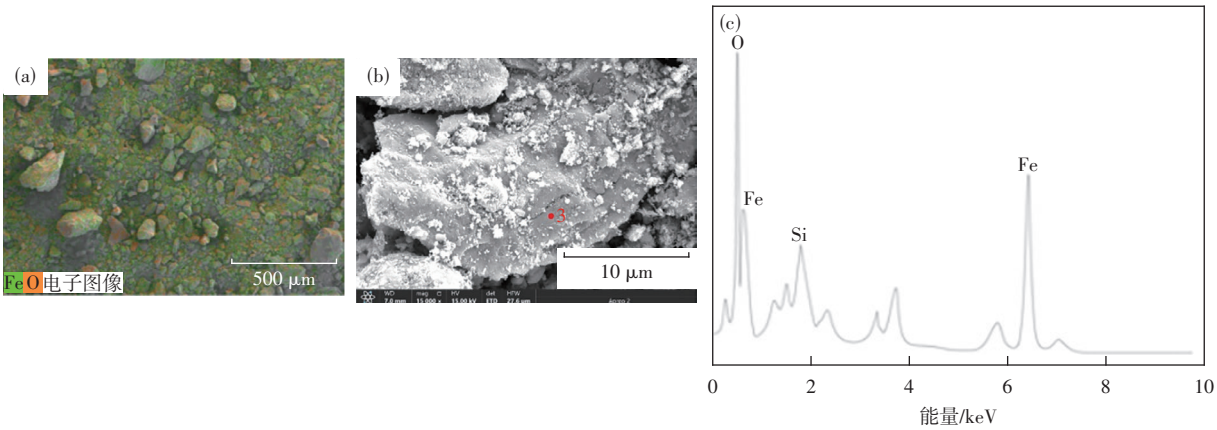


图 11 磁选精矿扫描电镜和能谱图:(a)元素扫描图;(b)SEM 图像;(c)能谱图

Fig. 11 SEM and EDS analysis of magnetic concentrate: (a) Elemental mapping; (b) SEM image; (c) EDS spectrum

裂纹与孔隙,铁矿物呈现疏松多孔特征,颗粒结构破坏较为明显,这为后续磨矿和磁选提供了有利条件。结合表 3 的 EDS 结果可知,原矿中的菱铁矿在焙烧过程中已基本分解,并与褐铁矿共同转化为磁铁矿。由图 11、图 12 可知,磁选后铁元素在精矿中得到明显富集,最终获得以磁铁矿为主的产品。

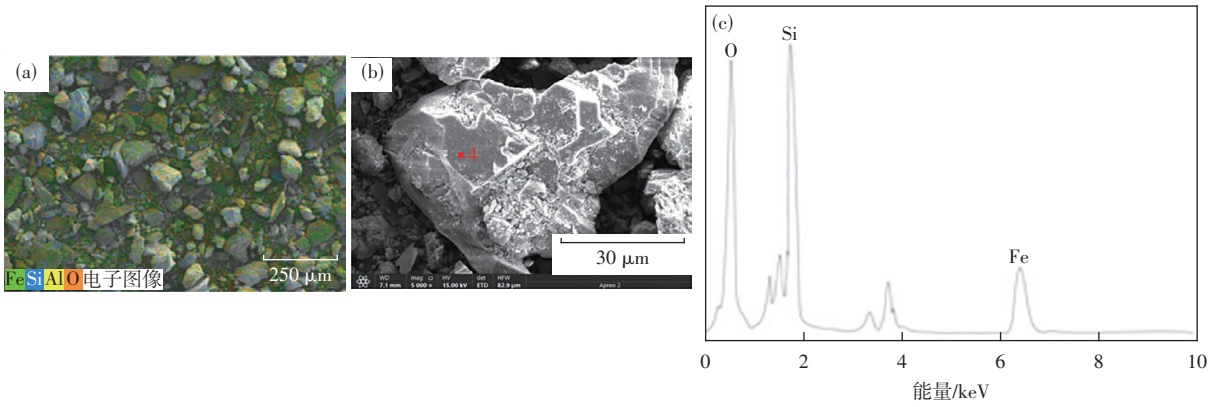


图 12　磁选尾矿扫描电镜和能谱图：(a) 元素扫描图；(b) SEM 图像；(c) 能谱图

Fig. 12　SEM and EDS analysis of magnetic tailings: (a) Elemental mapping; (b) SEM image; (c) EDS spectrum

表 3　不同产品 EDS 成分分析

Table 3　EDS analysis of different products　　/%

样品名称	O	Si	Fe	Al	C
原矿	41.34	17.18	27.35	3.74	1.68
焙烧产品	34.34	15.79	35.70	4.43	—
磁选精矿	23.67	7.32	63.54	1.88	—
磁选尾矿	40.00	20.37	20.75	4.48	—

3　结论

1) 研究对象为云南某有色金属伴生难选铁尾矿。经预富集后，样品 TFe 提高至 21.72%，铁元素主要赋存于菱铁矿和褐铁矿中，同时还含有少量硫化铁和硅酸铁等较难回收铁物相。

2) 在给料中 −0.038 mm 粒级含量占 50%、焙烧温度为 580 ℃、焙烧时间为 30 min、H_2 浓度为 40%、焙烧产品磨矿细度为 −0.038 mm 占 70%、磁场强度 0.132 T 的条件下，采用氢基矿相转化—磁选流程可获得铁品位 61.39%、铁回收率 65.11% 的铁精矿。

3) 氢基矿相转化后，原样中的菱铁矿与褐铁矿均主要转变为磁铁矿，矿样磁性显著增强。该变化削弱了不同含铁矿物之间原有的磁性差别，从而有利于含铁矿物与脉石矿物之间的有效分离。

参考文献

[1] 韩跃新，高鹏，李艳军，等. 我国铁矿资源“劣质能用、优质优用”发展战略研究[J]. 金属矿山，2016，45(12)：2-8.
Han Yuexin, Gao Peng, Li Yanjun, et al. Development strategies of available use of inferior quality and optimal use of high quality for domestic iron ore resources[J]. Metal Mine, 2016, 45(12): 2-8.

[2] 张铃，路永森，薛晨，等. 中国贫细杂难选铁矿分选技术研究进展[J]. 现代矿业，2024，40(3)：13-17，32.
Zhang Ling, Lu Yongsen, Xue Chen, et al. Research progress on separation technology of lean and fine refractory iron ore in China[J]. Modern Mining, 2024, 40(3): 13-17, 32.

[3] 柳林，王威，刘红召，等. 磁化焙烧—磁选回收某褐铁矿中铁的试验研究[J]. 矿产综合利用，2019，40(4)：33-37.
Liu Lin, Wang Wei, Liu Hongzhao, et al. Research on recovery of iron from limonite by magnetization roasting and magnetic separation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019, 40(4): 33-37.

[4] 姜亚雄，黄丽娟，黄恩旭，等. 难选褐铁矿流态化磁化焙烧—弱磁选工艺研究[J]. 有色金属(选矿部分)，2023(1)：64-70.
Jiang Yaxiong, Huang Lijuan, Huang Enxu, et al. Study on fluidized magnetizing roasting-low intensity magnetic separation process for refractory limonite[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2023(1): 64-70.

[5] 曾永杰，刘文丽，樊庆龙，等. 包钢尾矿工艺矿物学特性及铁的回收工艺论证[J]. 有色金属(选矿部分)，2026(4)：42-50.
Zeng Yongjie, Liu Wenli, Fan Qinglong, et al. Study on process mineralogy of Baotou Steel tailings and iron recovery process demonstration[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2026(4): 42-50.

[6] 张婉悦，余建文，韩跃新，等. 高铁赤泥中铝的赋存状态及铝铁分离技术研究[J]. 有色金属(选矿部分)，2024(5)：144-152.
Zhang Wanyue, Yu Jianwen, Han Yuexin, et al.

Chemical occurrence state of aluminum and a novel approach for separation of aluminum and iron in high iron bauxite residue[J]. Nonferrous Metals (Mineral Processing Section), 2024(5): 144-152.

[7] 韩跃新, 张小龙, 高鹏, 等. 中国铁矿石选矿技术发展与展望[J]. 金属矿山, 2024, 53(2): 1-24.
Han Yuexin, Zhang Xiaolong, Gao Peng, et al. Development and prospect of iron ore processing technologies in China[J]. Metal Mine, 2024, 53(2): 1-24.

[8] 聂琪, 朱宁, 张汉平, 等. 云南某褐铁粗精矿强化还原焙烧—弱磁选试验研究[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2022, 38(6): 6-11.
Nie Qi, Zhu Ning, Zhang Hanping, et al. Experimental study on the enhanced reduction roasting: weak magnetic separation of a limonite concentrate in Yunnan[J]. Journal of Kunming Metallurgy College, 2022, 38(6): 6-11.

[9] 张宗旺, 李健, 李燕, 等. 国内难选铁矿的开发利用现状及发展[J]. 有色金属科学与工程, 2012, 3(1): 72-77.
Zhang Zongwang, Li Jian, Li Yan, et al. The development and utilization status of China's refractory ore[J]. Nonferrous Metals Science and Engineering, 2012, 3(1): 72-77.

[10] 罗立群, 乐毅. 难选铁物料磁化焙烧技术的研究与发展[J]. 中国矿业, 2007, 16(3): 55-58.
Luo Liqun, Le Yi. Applied researches and new developments of magnetizing roasting on iron materials[J]. China Mining Magazine, 2007, 16(3): 55-58.

[11] 刘兴华, 罗良飞, 刘卫, 等. 某低品位褐铁矿的选矿工艺研究[J]. 矿冶工程, 2013, 33(4): 70-73.
Liu Xinghua, Luo Liangfei, Liu Wei, et al. Research on beneficiation process for low-grade limonite ore[J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2013, 33(4): 70-73.

[12] 周廷波, 魏晓彤, 孙永升, 等. 菱铁矿微波磁化焙烧磁选工艺及机理研究[J]. 金属矿山, 2023, 52(6): 107-112.
Zhou Tingbo, Wei Xiaotong, Sun Yongsheng, et al. Research on process and mechanism of microwave magnetization roasting and magnetic separation for siderite[J]. Metal Mine, 2023, 52(6): 107-112.

[13] 姜亚雄, 汪勇, 祁磊, 等. 强磁选—磁化焙烧—弱磁选工艺回收某尾矿中的菱铁矿[J]. 金属矿山, 2023, 52(2): 94-100.
Jiang Yaxiong, Wang Yong, Qi Lei, et al. Siderite recovery from a tailings by high gradient magnetic separation-magnetic roasting-low intensity magnetic separation process[J]. Metal Mine, 2023, 52(2): 94-100.

[14] 孔德翠, 刘杰, 张淑敏, 等. 某铁矿石悬浮磁化焙烧—磁选实验研究[J]. 矿产综合利用, 2022, 43(5): 130-134, 146.
Kong Decui, Liu Jie, Zhang Shumin, et al. Experimental study on suspension magnetization roasting-magnetic separation of an iron ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022, 43(5): 130-134, 146.

(本文编辑 汪东芳)

【缅怀寄语】

初识孙传尧院士，是在东北大学的一场学术报告会上，彼时我尚为本科三年级学生。如今先生远去，可他在我心中的身影，反倒愈发清晰、愈发高大。每每想起，钦佩与敬仰便自然涌出——那是对一位真正学者风骨的感怀，更是一位后辈对引路人的深情追思。

先生治学，严字当头，实字为本。他常讲："矿冶研究，容不得半点虚浮。"于是他把论文写在矿山生产线上，每份报告逐字推敲，每项指标反复验证。正是这份近乎执拗的严谨，托举着中国矿物加工技术攀上世界高峰。而先生待人，却宽厚温和，从不以院士自居。生活俭朴，躬身讲台，那份平易让人如沐春风。

最让后辈感念的，是先生毫无保留的提携。每次回东大指导研究生，废寝忘食，却又不愿惊动领导，只埋头于研学与教案之间。如今他的弟子已遍布矿冶战线，多成栋梁。先生对母校的深情，更令人动容——他常返校讲学，常常从下午一直讲到教学楼闭馆；百年校庆时，他携珍贵矿物标本亲临，寄语学子"到祖国最需要的地方去"。那份赤子之心，至今仍在东大校园回荡。

先生之风，山高水长。他的严谨让人敬畏，他的平易让人亲近，他的襟怀让人感佩，他的报国之志更让人仰止。孙传尧院士，您永远是照在我们心里的那盏灯，指引着后来者踏实前行。

——李文博