

冶炼工艺

引用格式: 李晓飞, 张延安, 吕国志, 等. 高铁赤泥涡流熔融还原提铁中试扩大试验[J]. 中国有色冶金, 2024, 53(2): 42-48.

LI Xiaofei, ZHANG Ting'an, LYU Guozhi, et al. Pilot test of recovery of iron from high-iron red mud by vortex smelting reduction[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2024, 53(2): 42-48.

高铁赤泥涡流熔融还原提铁中试扩大试验

李晓飞^{1,2}, 张延安^{1,2,3}, 吕国志^{1,2}, 王坤^{1,2}, 王松^{1,2}

(1. 东北大学 冶金学院, 辽宁 沈阳 110819;

2. 东北大学多金属共生矿生态化冶金教育部重点实验室, 辽宁 沈阳 110819;

3. 中铝东南材料院(福建)科技有限公司, 福建 福州 350002)

[摘要] 高铁赤泥中氧化铁含量在30%以上, 是重要的铁资源来源。为了规模化、资源化、无害化消纳高铁赤泥, 作者所在课题组在实验室进行了高铁赤泥涡流熔融还原试验, 并得到了最佳工艺参数。本文在实验室研究基础上进行了中试扩大试验, 采用工业试剂替代了实验室分析纯试剂, 取得了较好的效果。在试验温度1500℃、配碳比1.3、保温时间30min、搅拌转速125r/min、碱度1.0、氟化钙添加量为氧化钙添加量的10%的试验条件下, 可回收赤泥中97.12%的铁; 获得的生铁产品中磷和硫的含量低, 成分满足炼钢用生铁国标L03的要求; 还原渣中的主要物相为钙铝黄长石、钛酸钙和霞石, 是生产水泥熟料的有效组分。该中试放大试验为工业大规模应用提供了相关数据参考, 有利于实现高铁赤泥的规模化资源化利用。目前该生产采用间歇式生产模式, 未来可通过设计连续式反应装置实现连续加料、连续出渣和出铁。

[关键词] 高铁赤泥; 涡流熔融还原; 生铁; 中试试验; 赤泥消纳; 资源化利用

[中图分类号] X758; TF557 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2024)02-0042-07

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2024.02.005

我国氧化铝产量居世界第一位, 占全球50%以上^[1], 是国民经济、国家安全和社会发展的基础原材料和战略保障。但氧化铝生产过程排放的赤泥, 其无害化处理一直是世界性难题^[2-5], 国内每年排放赤泥约1.5亿t, 其中约50%为高铁赤泥^[6], 赤泥的综合利用率不足10%, 大多处理方法为筑坝堆存^[7]。赤泥的堆存不仅占用大量土地, 污染周围土

壤、水体等生态系统, 且存在崩塌、滑坡等潜在人身安全风险^[8-9], 例如2010年匈牙利的Ajka赤泥决堤事故及2019年印度Jharkhand赤泥库泄漏事故, 引起了氧化铝企业对赤泥堆存安全的高度重视^[10-11], 从长远看, 赤泥的大规模、资源化利用才是改善环境污染和消除安全隐患的治本之策^[12]。

高铁赤泥中的氧化铁含量在30%以上, 被认为是重要的铁资源^[13]。开发高铁赤泥的综合利用新技术对钢铁行业原料的安全供给和氧化铝行业的可持续发展具有重要意义。国内外对回收高铁赤泥中铁的研究主要集中在物理分选法、湿法和火法^[14-16]。物理分选法包括重选和磁选, 工艺简单, 但铁回收率不足20%, 没有从根本上解决赤泥堆存问题^[17-19]; 湿法回收赤泥中的铁会消耗大量的酸,

[收稿日期] 2023-09-12

[第一作者] 李晓飞(1993—), 男, 山东烟台人, 博士研究生, 主要研究方向为赤泥综合利用。

[通信作者] 张延安(1960—), 男, 河南周口人, 教授。

[基金项目] 国家自然科学基金(52204419); 辽宁省自然科学基金(2022-BS-076); 广西科技重大专项(2021AA12013); 江西省“双千计划”(S2021DQKJ2198)。

造成二次污染^[20-22]。火法回收赤泥中的铁包括固相还原-磁选和熔融还原^[23-25]。熔融还原技术铁回收率高且产品铁品位高,可直接用于炼钢;产生的还原尾渣可用于进一步提铝、提钛、提钪或者直接制备建材^[26],对于高铁赤泥来说是一种有前景的综合利用方法。

非高炉炼铁工艺可以降低炼铁过程对焦炭的需求,减少环境污染,提高低品位含铁资源的利用率。目前针对赤泥这一含铁固废的非高炉炼铁技术的研究较少,作者所在课题组提出了“高铁赤泥直接涡流熔融还原-尾渣水泥化”的新工艺^[27-28],该工艺可以有效回收高铁赤泥中的铁,而且生成的提铁尾渣可做水泥熟料,减少了建材生产的碳排放^[29]。本文在实验室研究的基础上,进行了高铁赤泥涡流熔融还原的中试放大试验,以期工业大规模应用提供参考。

1 试验方法

1.1 试验原料

本试验所用拜耳法高铁赤泥来自于山东信发氧化铝厂,为高碱高铁赤泥,成分分析见表1;对高铁赤泥进行XRD物相分析,结果如图1所示。图1结果表明,该赤泥主要物相为赤铁矿(Fe_2O_3)、针铁矿($\text{FeO}(\text{OH})$)、勃姆石($\text{AlO}(\text{OH})$)、石英(SiO_2)、金红石(TiO_2)、水合铝硅酸钠($1.08\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.68\text{SiO}_2 \cdot 1.8\text{H}_2\text{O}$)和硅酸二钙($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)。

表1 高铁赤泥的化学成分(质量分数)

成分	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	Na_2O	CaO	烧失
含量	17.74	10.13	41.63	8.45	6.48	1.60	12.56

试验采用无烟煤作为还原剂,其成分分析见表2;无烟煤灰分的主要成分分析见表3。结果表明,无烟煤中固定碳含量较高,达到了83.80%;灰分占比5.53%。主要成分为氧化铝、氧化硅、氧化钙和氧化铁。由于无烟煤中灰分含量较低,在分析中忽略灰分对试验过程的影响。

此外,为调节熔渣的黏度和流动性,需添加氧化钙和氟化钙来造渣,实验室试验中使用的这2种试剂均来自国药集团化学试剂有限公司(分析纯);在中试试验过程中则采用工业石灰和工业萤石来替代。试验原料的烘干、研磨分别在烘箱与棒磨机中

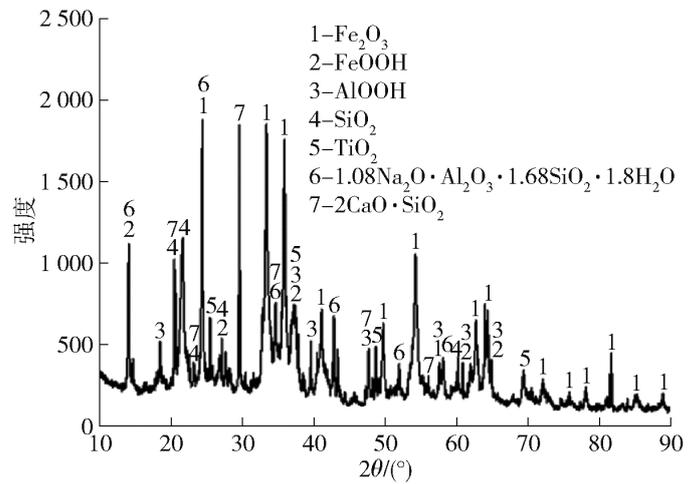


图1 高铁赤泥的XRD图

Fig. 1 XRD pattern of high iron red mud

进行;采用X射线荧光光谱仪(ZSXPrimus II型)对成分进行测定,采用X射线衍射仪(D8Advance型)对物相结构进行测定。

表2 无烟煤的主要成分(质量分数)

Table 2 Main components of anthracite coal (mass fraction) %

成分	固定碳	灰分	挥发分	水分
含量	83.80	5.53	8.65	2.02

表3 无烟煤中灰分的主要成分(质量分数)

Table 3 Main components of ash in anthracite coal (mass fraction) %

成分	Al_2O_3	SiO_2	CaO	TFe
含量	45.51	45.32	2.97	3.17

1.2 试验流程及原理

本试验流程如图2所示,将干燥后的高铁赤泥与还原剂、造渣剂混匀,随后进行涡流熔融还原。试

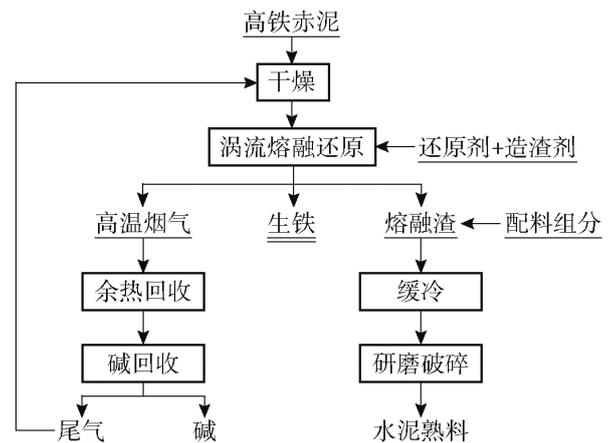


图2 实验室试验流程图

Fig. 2 Flow chart of laboratory experiments

验过程中可回收烟气中的钠,并利用高温烟气进行原料的烘干。经过还原,铁与熔渣在密度差的作用下自然分离,获得生铁产品,而熔渣经过高温调质可做水泥熟料。该研究实现了高铁赤泥的绿色高效高值化利用。实验室研究重点考查了温度、时间、配碳比、碱度(碱性氧化物与酸性氧化物的比值)、氟化钙添加量以及搅拌转速对铁回收率的影响,为中试试验提供相关数据参考。

试验采用自主设计的涡流还原炉,其示意图如图3所示。涡流还原炉由升降系统、机械搅拌系统、中频感应炉体加热系统和烟尘收集系统等4部分组成。中频感应炉的型号为SPZ-160型,内置高纯石墨坩埚对样品加热;试验过程中使用希玛AR922型号的高温红外测温枪(测温范围200~2500℃)对样品进行测温。

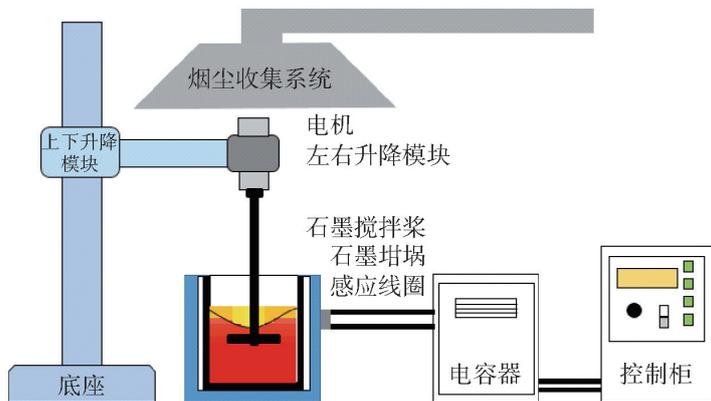
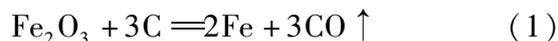


图3 涡流还原炉示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the vortex reduction furnace

实验过程中主要发生的是赤泥中的赤铁矿相还原反应,具体反应方程式见式(1),并且根据此反应方程式计算配碳比。



1.3 中试试验流程

课题组在实验室研究的基础上进行了高铁赤泥涡流熔融还原的中试试验,试验地址为沈阳市新民某冶炼厂,预计年消纳干赤泥10万t。干燥的高铁赤泥经过配料、混料和压球后,晾干备用(图4)。中试试验同样采用自主设计的涡流还原炉进行高温试验,加热炉体为中频感应炉(直径160cm,高200cm),辅助设备为振动加料机、干燥箱、混料机、对辊液压压球机等。高铁赤泥经过配料、混料后压制的球团成球率较高,并且压制球团经过风干晾晒后,球团的强度较大,不易粉化,有利于加料过程进行。

中试试验中未使用石墨坩埚,而是在有耐火材料作为炉衬的还原炉内进行。为实现炉内升温,在起炉过程中需要加入生铁块,生铁块完全熔化后形成熔池;待达到试验温度时,启动涡流搅拌系统,当转速达到 $125 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 后,使用振动加料机进行加料。试验过程中采用高纯石墨制备的搅拌桨进行涡流搅拌。试验过程照片如图5所示,待反应结束后进行浇铸、除渣、脱模,最终获得生铁铸锭。

2 试验结果与分析

2.1 实验室试验结果

实验室确定的最佳反应条件为温度1500℃、配碳比1.1、保温时间30min、搅拌转速125r/min、碱度1.0、氟化钙添加量为氧化钙添加量的10%,最佳试验条件下,高铁赤泥中铁的回收率为98.78%^[6]。

2.2 中试试验结果

在赤泥熔融还原过程中,试验过程中采用耐火材料作为炉衬,没有使用石墨坩埚,因此为了保证还



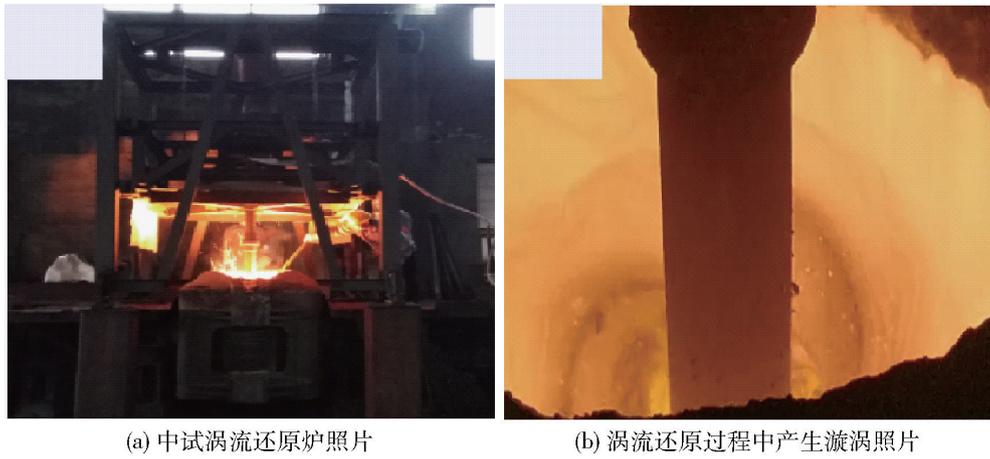
(a) 混料设备

(b) 压球设备

(c) 压制球团

图4 高铁赤泥制球团过程

Fig. 4 Preparing pellets process of high-iron red mud



(a) 中试涡流还原炉照片

(b) 涡流还原过程中产生漩涡照片

图 5 中试涡流还原炉及还原过程中漩涡照片

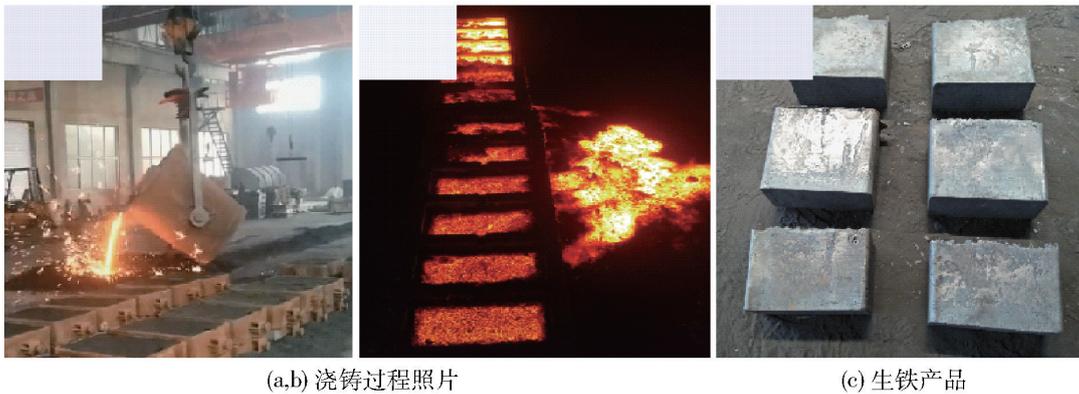
Fig. 5 The photograph of the pilot-scale vortex reduction furnace and the vortex in vortex reduction process

原效果和足够的热量,配料过程中采用的配碳比为 1.3:1。采用工业石灰来调节渣的碱度至 1.0,采用工业萤石来作为助熔剂,添加量为石灰添加量的 10%。

试验过程中涡流效果如图 5 所示,球团状物料加入后,很快被搅拌桨搅拌产生的涡流卷吸进熔体中,被搅拌桨破碎后迅速熔化。高温熔体的黏度较小,经过涡流搅拌后,很容易形成明显的漩涡。

加料完成继续保温还原 30 min 后,停止搅拌并

提升搅拌桨;翻转感应炉炉体,将熔体倒进渣包;经渣包转运后浇铸进石墨模具中,冷却后脱模得到生铁块。浇铸过程和浇铸后照片如图 6 所示。浇铸后由于铁水密度较大,因此会沉降在熔池底部,还原渣由于密度较小,漂浮在熔池上部。浇铸后采用空冷方式冷却熔体,熔体表面的渣很快凝固,而内部的铁水要经过 24 h 才能冷却至室温。模具和样品冷却后,对石墨模具进行除渣、脱模,得到生铁产品。



(a,b) 浇铸过程照片

(c) 生铁产品

图 6 浇铸过程照片及生铁产品

Fig. 6 Photographs of the casting process and pig iron

脱模后生铁块表面光滑,渣金分离彻底。还原过程中,用取样勺对还原渣取样后水碎、烘干后,对还原渣成分进行检测,计算还原过程中铁回收率,结果如图 7 所示,铁回收率 = $1 - \text{还原渣中总铁} / \text{赤泥中总铁}$ 。

由图 7 可知,随着还原时间的增加,铁回收率逐渐增加。在还原时间为 0 ~ 10 min 时,铁回收率增加较快,在还原时间为 10 min 时,铁回收率已经达

到了 86.43%;当还原时间为 15 min 时,铁的回收率继续升高,达到了 95.29%;当还原时间从 15 min 继续增加到 30 min 后,铁的回收率仅有小幅增加,达到 97.12%。该结果说明涡流熔融还原高铁赤泥的中试试验同样能达到实验室的试验效果,在还原时间为 15 min 时,铁回收率已经达到了较大的数值,取得了良好的还原效果。

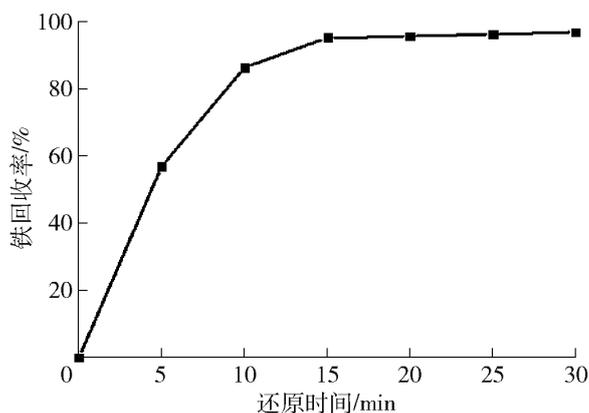


图7 还原时间对铁回收率的影响

Fig.7 Effect of reduction time on iron recovery rate

表4 还原生铁的化学成分(质量分数)

Table 4 The chemical compositions of reduced pig iron (mass fraction) %

元素	Fe	C	Al	Si	Mn	P	S
还原生铁	93.27	4.21	<0.01	0.08	0.025	0.13	0.020
炼钢生铁国标 L03	—	≥3.5	—	≤0.35	≤0.40	0.10~0.15	≤0.030

表5 还原渣的主要化学成分及含量(质量分数)

Table 5 Chemical composition and content of slag (mass fraction) %

成分	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	TFe	Na
含量	39.63	28.92	13.71	6.74	0.28	0.725

图8为还原渣XRD分析结果。结果表明,还原渣中主要物相为钙铝黄长石($\text{CaAl}_2\text{SiO}_7$)、钛酸钙(CaTiO_3)和霞石(NaAlSiO_4),这说明高铁赤泥在涡流熔融还原过程中大部分氧化钠会进入烟气,剩余的氧化钠则会以霞石的形式存在于还原渣中;试验过程中添加的石灰石不仅可以调节碱度,并且最终

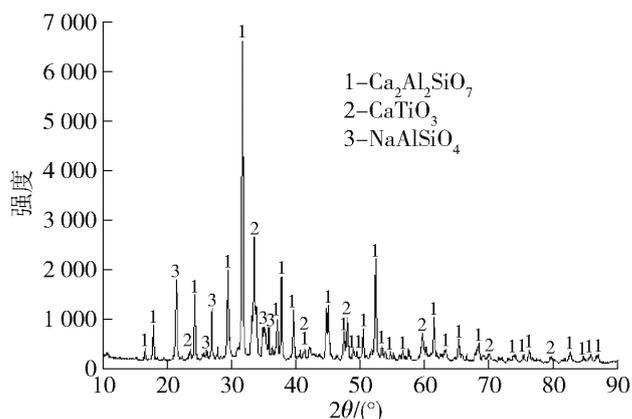


图8 还原尾渣的XRD

Fig.8 XRD results of the reduced slag

2.3 中试试验渣、金分析

对还原生铁进行化学成分检测,分析结果如表4所示。

由表4可知,涡流熔融还原中试试验产生的生铁中磷和硫的含量都很低,满足炼钢用生铁国标L03的要求,还原得到的铁水可以直接用作炼钢原料。最终还原渣主要成分见表5,渣中TFe含量仅为0.28%,说明涡流熔融可以有效回收赤泥中铁;此外还原渣中的Na含量为0.725%,符合建材生产用料中的碱含量标准。

进入还原尾渣中成为水泥熟料的有效组分,实现了CaO的充分利用^[27]。

以1t干赤泥为例,需添加无烟煤175.4kg,添加生石灰330.7kg,添加萤石36.7kg。通过涡流熔融还原,最终获得还原渣807.7kg,金属291.2kg。损耗的质量为无烟煤还原带走的碳和氧、烟尘中带走的颗粒、挥发分等以及感应炉炉衬黏结渣,烟气中的钠会以氧化钠的形式附着在烟尘颗粒中,可通过浸出回收。中试扩大试验过程中的渣金质量比约为8:3,该试验结果为工业大规模应用设计炉体提供基础数据。

3 结论和展望

本文在实验室高铁赤泥涡流熔融还原试验的基础上,进行了中试扩大试验,采用工业试剂替代了原分析纯试剂,取得了良好效果。

1) 高温熔体黏度较小,经过涡流搅拌后,易形成明显的漩涡;还原后生铁块的表面光滑,渣金界面明显,分离效果很好。

2) 随着还原时间的增加,铁回收率逐渐增加,还原时间为30min时,铁回收率达到了97.12%。还原后得到的生铁中磷和硫的含量都很低,成分满足炼钢用生铁国标L03的要求。

3) 还原渣中主要物相为钙铝黄长石、钛酸钙和霞石,可用于生产水泥熟料。

高铁赤泥涡流熔融还原中试放大试验为该技术的工业大规模应用提供了相关数据参考,有利于实现高铁赤泥的规模化资源化利用。目前高铁赤泥涡流熔融还原中试试验采用间歇式生产模式,即一炉反应结束后重新加料。未来可通过设计连续式反应装置实现连续加料、连续出渣和出铁,这将会大大提高该技术消纳赤泥的能力。

[参考文献]

- [1] LIU Wanchao, CHEN Xiangqing, LI Wangxing, et al. Environmental assessment management and utilization of red mud in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 84: 606 – 610.
- [2] KHAIRUL M A, ZANGANEH J, MOGHTADERI, B. The composition, recycling and utilisation of Bayer red mud [J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 2019, 141: 483 – 498.
- [3] 罗丹, 李紫龙, 杜秋, 等. 赤泥综合利用研究进展[J]. *科技创新与应用*, 2020(15): 75 – 76.
- LUO Dan, LI Zilong, DU Qiu, et al. Research progress on comprehensive utilization of red mud[J]. *Technology Innovation and Application*, 2020 (15): 75 – 76.
- [4] KLAUBER C, GRÄFE M, POWER G. Bauxite residue issues: II. options for residue utilization [J]. *Hydrometallurgy*, 2011, 108:11 – 32.
- [5] GRÄFE M, POWER G, KLAUBER C. Bauxite residue issues: III. Alkalinity and associated chemistry [J]. *Hydrometallurgy*, 2011,108: 60 – 79.
- [6] LI X F, ZHANG T A, WANG K, et al. Experimental research on vortex melting reduction of high-iron red mud (bauxite residue) [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2022, 109:155 – 162.
- [7] 阎文庆. 国内外尾矿贮存堆放方法及应用[J]. *金属矿山*, 2016, 1(9): 17 – 21.
- YAN Wenqing. Domestic and international tailings storage stockpileings and applications [J]. *Metal Mine*, 2016, 1(9): 17 – 21.
- [8] 南相莉, 张廷安, 刘燕, 等. 我国主要赤泥种类及其对环境的影响[J]. *过程工程学报*, 2009, 9(S1): 459 – 464.
- NAN Xiangli, ZHANG Tingan, LIU Yan, et al. Main categories of red mud and its environmental impacts[J]. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 2009, (S1): 459 – 464.
- [9] 吴世超, 朱立新, 孙体昌, 等. 赤泥综合利用现状及展望[J]. *金属矿山*, 2019(6): 38 – 44.
- WU Shichao, ZHU Lixin, SUN Tichang, et al. Red mud comprehensive utilization status and outlook [J]. *Metal Mine*, 2019(6): 38 – 44.
- [10] RUYTERS S, MERTENS J, VASSILIEVA E. The red mud accident in ajka (hungary): plant toxicity and trace metal bioavailability in red mud contaminated soil[J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(4): 1616 – 1622.
- [11] 杨平, 武伟男. 匈牙利赤泥泄漏事件应急处置分析及对我国的启示[J]. *科技创新导报*, 2017, 14(9): 163 – 164.
- YANG Ping, WU Weinan. Analysis of the emergency response to the Hungarian red mud spill and implications for China [J]. *Technology and Innovation Herald*, 2017, 14(9): 163 – 164.
- [12] WANG K, DOU ZH H, LIU Y, et al. Summary of research progress on separation and extraction of valuable metals from Bayer red mud [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29: 89834 – 89852.
- [13] AGRAWAL S, DHAWAN N. Evaluation of red mud as a polymetallic source-a review [J]. *Minerals Engineering*, 2021, 171: 107084.
- [14] 顾汉念, 郭腾飞, 马时成, 等. 赤泥中铁的提取与回收利用研究进展[J]. *化工进展*, 2018(9): 3599 – 3608.
- GU Nianhan, GUO Tengfei, MA Shicheng, et al. Progress in the extraction and recycling of iron from red mud [J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2018(9): 3599 – 3608.
- [15] LIU Z, LI H. Metallurgical process for valuable elements recovery from red mud: a review [J]. *Hydrometallurgy*, 2015, 155: 29 – 43.
- [16] SADANGI J K, DAS S P, TRIPATHY A, et al. Investigation into recovery of iron values from red mud dumps [J]. *Separation Science and Technology*, 2018, 53: 1 – 6.
- [17] 胡伟, 熊大和. 强磁选-重选联合工艺回收尾矿、尾渣中铁的研究[J]. *有色金属科学与工程*, 2010, 1(5): 52 – 54.
- HU W, XIONG D H. Study on iron ore recovery out of mineral processing tailing and smelting tailing by magnetic-gravity process [J]. *Nonferrous Metals Science and Engineering*, 2010, 1(5): 52 – 54.
- [18] 管建红. 采用脉动高梯度磁选机回收赤泥中铁的试验研究 [J]. *江西有色金属*, 2000, 14(4): 15 – 18.
- GUAN J H. On recovering Fe from red mud with SLon vertical ring and pulsating high gradient magnetic separator [J]. *Jiangxi Nonferrous Metals*, 2000, 14(4): 15 – 18.
- [19] 邱峰, 李蕾, 王宁. 拜耳法赤泥提铁工艺成套技术的研究与应用 [J]. *有色设备*, 2022, 36(3): 39 – 42.
- QIU Feng, LI Lei, WANG Ning. Research and application of the technology of extracting iron from red mud by Bayer process [J]. *Nonferrous Metallurgical Equipment*, 2022, 36(3): 39 – 42.
- [20] ZHANG R, ZHENG S, MA S, et al. Recovery of alumina and alkali in Bayer red mud by the formation of andradite-grossular hydrogarnet in hydrothermal process [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 189(3): 827 – 835.
- [21] YANG Y, WANG X, WANG M, et al. Recovery of iron from red mud by selective leach with oxalic acid [J]. *Hydrometallurgy*, 2015, 157: 239 – 245.
- [22] 鹿中科, 高建阳. 高铁赤泥提取有价金属工艺试验 [J]. *有色冶金节能*, 2015, 31(3): 17 – 19, 38.
- LU Zhongke, GAO Jianyang. Process test of valuable metals

- extracting in high iron red mud[J]. Energy Saving of Nonferrous Metallurgy, 2015, 31(3): 17-19, 38.
- [23] SAMOUHOS M, TAXIARCHOU M, PILATOS G, et al. Controlled reduction of red mud by H₂ followed by magnetic separation[J]. Minerals Engineering, 2017, 105: 36-43.
- [24] GOSTU S, MISHRA B, MARTINS G P. Low temperature reduction of hematite in red mud to magnetite[J]. The Minerals, Metals & Materials Society, 2017: 67-73.
- [25] 王洪, 王静松, 刘江, 等. 基于直接还原熔分的高铁赤泥综合利用试验研究[J]. 轻金属, 2013(1): 19-22.
WANG Hong, WANG Qingsong, LIU Jiang, et al. Experimental research on comprehensive utilization of the high iron red mud based on direct reduction and melting by RHF iron bead technology[J]. Light Metals, 2013, 1: 19-22.
- [26] LIU Y T, QIN Z H, CHEN B. Experimental research on magnesium phosphate cements modified by red mud [J]. Construction and Building Materials, 2020, 231: 117-131.
- [27] 张延安, 王艳秀, 豆志河, 等. 一种高铁赤泥涡流熔融还原脱碱提铁直接水泥化的方法: CN109913604B[P]. 2019.
ZHANG Ting'an, WANG Yanxiu, DOU Zhihe, et al. A method for direct cementation of high-iron red mud by eddy current melting reduction alkali removal and iron extraction: CN109913604B[P]. 2019.
- [28] LI Xiaofei, ZHANG Ting'an, WANG Kun, et al. Research on the advantages of vortex smelting reduction of high-iron red mud (bauxite residue) [J]. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2022, 63(6): 731-737.
- [29] WANG K, LIU Y, DOU ZH H, et al. A novel method of extracting iron from high-iron red mud and preparing low-carbon cement clinker from tailings[J]. JOM, 2022, 74: 2750-2759.

Pilot test of recovery of iron from high-iron red mud by vortex smelting reduction

LI Xiaofei^{1,2}, ZHANG Ting'an^{1,2,3}, LYU Guozhi^{1,2}, WANG Kun^{1,2}, WANG Song^{1,2}

(1. School of Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. Key Laboratory of Ecological Metallurgy of Multimetal Intergrown Ores of Ministry of Education, Shenyang 110819, China;

3. CHINALCO Southeast Materials Institute(Fujian) Technology Co. Ltd., Fuzhou 350002, China)

Abstract: The iron oxide content of high-iron red mud is more than 30%, which is an important source of iron resources. In order to realize the large-scale, resourcefulness, and harmless utilization of high-iron red mud, a pilot-scale experiment on vortex smelting reduction of high-iron red mud was conducted in this paper on the basis of laboratory research. The pilot study achieved good results with the use of industrial reagents instead of analytically pure laboratory reagents. The iron recovery was 97.12% under the experimental conditions of the experimental temperature of 1 500 °C, the carbon ratio of 1.3, the holding time of 30 minutes, the stirring speed of 125 r/min, the alkalinity of 1.0, and the amount of calcium fluoride was 10% of the amount of calcium oxide. The content of P and S in the pig iron was low, which can meet the requirements of the national standard L03 for steelmaking. The main phases in the reduction slag are gehlenite, calcium titanate, and nepheline, which are effective components for cement clinker production. The pilot-scale experiment on vortex smelting reduction of high-iron red mud can provide relevant data for large-scale industrial applications and has great guiding significance. Currently the production is in intermittent mode. In the future, continuous charging, continuous slagging and iron production can be realized by designing a continuous reaction unit.

Key words: high-iron red mud; vortex smelting reduction; pig iron; pilot study; red mud consumption; resource utilization