

DOI: 10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20180115

包钢炼钢厂铝镇静钢工艺优化

刘 南, 辛广胜, 王文义

(内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 为了解决随着铝镇静钢的产量和品种大幅度增加, 铝镇静钢生产经常发生水口结瘤或钢水中钙质量分数高导致的控流不好等生产问题, 通过对包钢炼钢厂5号铸机生产铝镇静钢存在的问题进行系统分析研究, 采用沉淀脱氧(一次)+扩散脱氧相结合的脱氧制度; 针对精炼渣系进行优化, 并采用新的成分判定标准; 优化钙处理工艺参数, 控制钢水成分、调整喂丝机位置及角度等, 实行精准钙处理, 并通过实际验证, 通过对方案优化前后进行比较, 优化后获得良好的经济效益, 且很大程度上节省了材料消耗, 符合国家当前钢铁行业降耗、绿色智能化的发展要求。

关键词: 铝镇静钢; 脱氧; 水口结瘤; 精炼

文献标志码: A **文章编号:** 0449-749X(2018)11-0036-05

Process optimization of aluminum killed steel in Baogang Steel Mill

LIU Nan, XIN Guang-sheng, WANG Wen-yi

(Steel Mill, Steel Union Co., Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp, Baotou 014010, Nei Mongol, China)

Abstract: Since the output and the variety of the aluminum killed steel increased in recent years, the production problem of the Al killed steel such as the clogging at the nozzle and the poor flow control due to the high Ca mass percent of the molten steel has attracted more and more attentions of researchers. In order to solve those problems, the problem in the production of the aluminum sedation steel in the No.5 casting machine of the BAO GANG Steel Mill was systematically analyzed. The deoxidization system combined the precipitation deoxidization (primary) and the diffusion deoxidization were used, and a new determination standard was adopted. Also, the refining slag system and the process and parameters of calcium treatment were optimized to control the composition of the molten steel and adjust the position and the angle of the feeding machine and so on, achieving the precision calcium treatment. The scheme was verified by the actual experiment. Compared with the scheme before optimization, a better economic benefit was obtained after the optimization, and the material consumption was saved in a great extent, which conforms to the current consumption of the steel industry and the green intelligentization of the state.

Key words: aluminum killed steel; deoxidization; nozzle clogging; secondary-refining

在连铸低碳高酸溶铝钢的生产中, 浸入式水口堵塞是困扰钢厂的一大难题。由于发生水口堵塞而导致生产中断对连铸品种的扩大、铸坯质量和生产率的提高均有不良影响。为此有必要对连铸低碳低硅高酸溶铝钢的水口堵塞进行深入研究, 以改善钢水的可浇性、增加连浇炉数; 国内外冶金工作者对引起水口堵塞的原因及堵塞机理进行了大量的研究^[1-4], 包括钢水质量、钢水温度、水口材质和结构以及水口传热和二次氧化等方面。当前的研究结果表明, Al_2O_3 在水口壁上的附着烧结以及钢液与水口耐火材料之间发生的化学反应是造成水口堵塞的重要原因。钢水中 Al_2O_3 夹杂物在水口壁上富集的主

要来源有: 钢水中悬浮的夹杂物主要为脱氧产物 Al_2O_3 颗粒, 由于界面张力的作用黏附在水口壁上; 水口材料与钢水发生反应生成 Al_2O_3 ; 水口耐火材料孔隙中吸附的氧气与钢水中的铝反应生成 Al_2O_3 ; 靠近水口内壁处钢水温度下降析出的 Al_2O_3 ^[1]。

文献^[5-9]认为, 水口堵塞可分成3个步骤, 即夹杂物的形成, 夹杂物向水口壁的传递和夹杂物在水口壁上的黏附。所以防止水口堵塞的措施也将从以上环节入手。但没有指出转炉与精炼的脱氧配合问题, 也没有明确精炼渣系和精准钙处理的实施办法。本研究的目的在于探讨合适的脱氧工艺, 渣系的确定和钙处理工艺, 以期解决浇铸低碳高酸溶铝

钢的水口堵塞问题。

1 包钢冶炼铝镇静钢的技术难点

1.1 脱氧控制难点

钢中氧质量分数的高低,会对钢质量产生重要影响,也会导致其脱氧行为存在一定的差异性,根据对生产现场大量的数据进行分析,脱氧制度如图1所示。由图1可知,LF进站酸溶铝质量分数平均值为0.008%,主要分布范围为0.005%~0.03%,标准差为0.015%。主要的问题是转炉终点不稳定,脱氧控制精度不高。LF低铝硅钙钡脱氧,中间包塞棒侵蚀很快;或LF铝铁脱氧上浮时间不够,水口絮流,中包连浇炉数不足10炉。

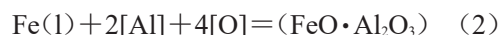
文献^[10-14]认为,当 $w([O]) \leq 0.06\%$ 时,铝脱氧反应见式(1)。



对铝脱氧钢中夹杂物进行取样分析,利用扫描电镜观察生成物形貌,如图2(a)所示,此时,夹杂物

颗粒细小,主要呈树枝状分布。

当 $w([O]) > 0.06\%$ 时,铝脱氧反应见式(2)。



电镜下观察其形貌如图2(b)所示,夹杂物尺寸较大,球形黏结,呈链状分布;因此转炉终点铝脱氧的生成物易于上浮。

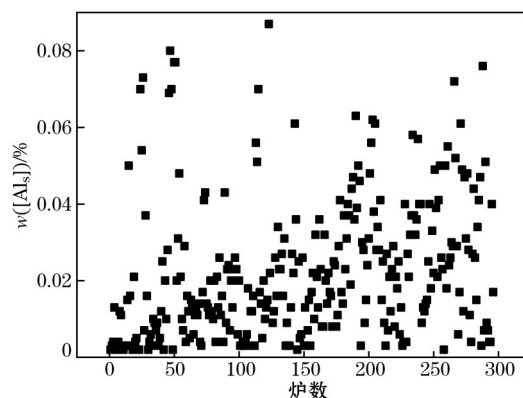
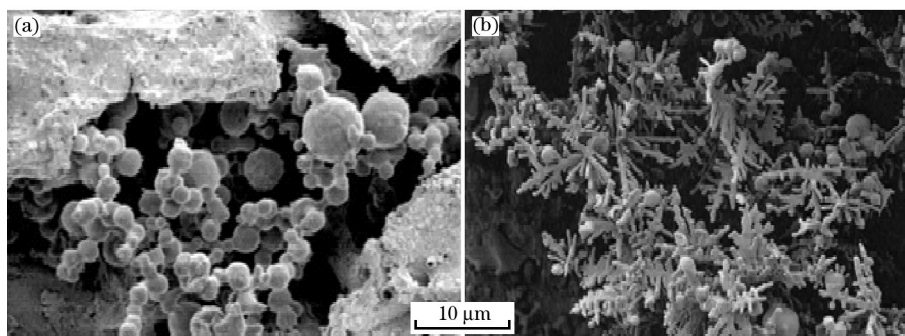


图1 LF进站酸溶铝质量分数

Fig. 1 LF pit acid-soluble aluminum mass percent



(a) $w([O]) \leq 0.06\%$; (b) $w([O]) > 0.06\%$ 。

图2 夹杂物形貌

Fig. 2 Inclusion morphology

1.2 渣系控制难点

精炼初炼时期钢渣之间并未达到扩散平衡,因此,需要加强动力学搅拌以及保证足够的反应时间。通过钢渣接触、氩气搅拌,钢中铝也直接同渣中的FeO发生反应。但因LF炉进站脱氧度的差异,对LF终渣碱度没有明确,波动很大,如图3所示。终渣 $(FeO) + (MnO)$ 质量分数控制偏高,如图4所示。

1.3 钙处理控制难点

连铸过程通常采用铝碳质水口,对含铝夹杂物表现出较好的润湿性,且由于实际冶炼流程水口预热仅为800℃左右,远达不到钢水温度,浇注过程必然产生凝钢层,加之铝脱氧钢中含大量高熔点含铝夹杂物,极易在水口积聚结瘤。为减少水口结瘤,稳定浇注,对于铝脱氧钢,通常采用钙处理,其目的在

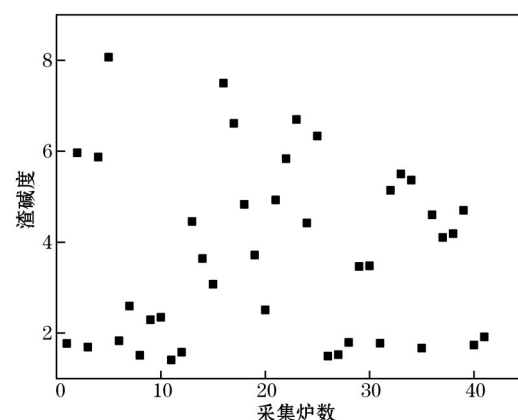


图3 精炼终渣碱度

Fig. 3 Refined final slag alkalinity

于生成低熔点钙铝酸盐。钙处理过轻,产生更多夹杂物,加剧结瘤;钙处理过重(钙质量分数过高),不

仅与钢中硫生成 CaS 夹杂,堵塞水口,还与 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 质塞棒发生反应,加剧塞棒侵蚀。因此如何精准喂钙,起到良好的钙处理效果至关重要。喂线量及喂线速度模糊,且喂丝机位置不当等,导致金属收得率低,严重影响钙处理效果。

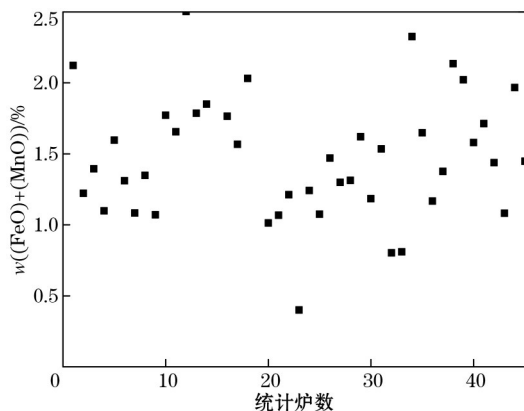


图4 精炼终渣 (FeO)+(MnO) 质量分数

Fig. 4 $w((\text{FeO})+(\text{MnO}))$ of refined final slag

2 方案制定及实施结果

结合包钢铝镇静钢冶炼实际,通过对以上问题研究分析,最终确定优化思路为:采用沉淀脱氧(一次)与扩散脱氧相结合的脱氧制度。转炉出钢过程先加入块状脱氧剂(铝铁)脱氧,精炼过程采用铝粒扩散脱氧进行深脱氧,如图5所示。LF进站铝质量分数平均值为0.015%,标准差为0.004%,主要分布区间为0.01%~0.03%。通过精确计算转炉终点碳与脱氧剂加入量的对应性,同时脱氧前置,使LF进站铝控制稳定且相对提高。

2.1 优化渣系

精炼渣的基础渣选 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系三元相图的低熔点位置的渣系。基础渣最主要的作用是控制渣的碱度,碱度提高可使钢中平衡氧降低;熔渣的氧化性高低取决于渣中最不稳定的氧化物——

FeO 活度 (a_{FeO}) 的高低。采用新的炉渣成分判定标准:初渣判定, $w(\text{Al})=0.040\%\sim0.060\%$,熔化良好,气孔发达,色泽灰暗;过程精调,控制脱氧、脱硫率不小于60%, $w(\text{Si})$ 有上升的趋势,目标 $w(\text{Al})\geq 0.015\%$ 。精炼采取扩散脱氧即采用铝粒脱氧,铝粒少加、勤加。当脱硫率 $\geq 60\%$ 时,渣中 $w(\text{FeO})+(\text{MnO})< 1.0\%$,主要反应见式(3)和式(4)。

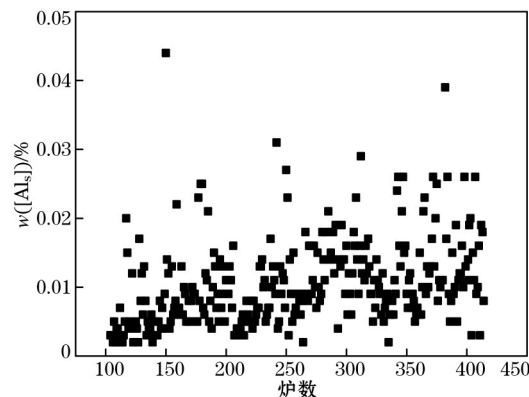
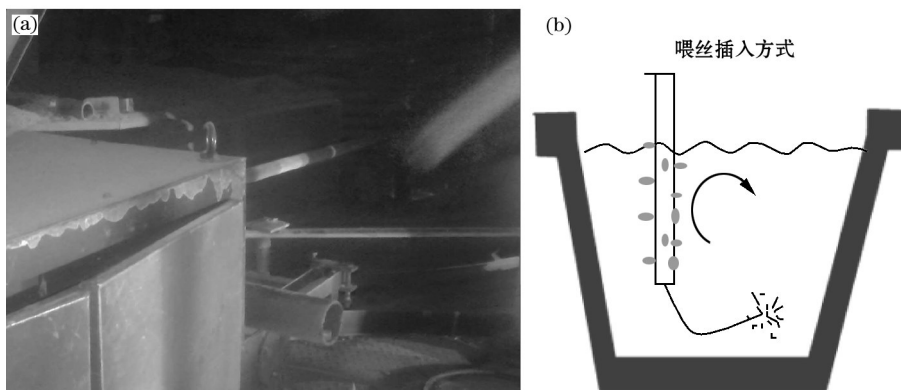


图5 LF进站钢水酸溶铝质量分数

Fig. 5 $w([\text{Al}_s])$ LF in bound molten steel

2.2 改善喂丝条件

喂线速度大于3 m/s;严格控制刚中 $w(\text{T[O]})$ 和 $w(\text{[S]})$,确保钢水 $w(\text{T[O]})$ 小于0.001 0%, $w(\text{T[S]})$ 小于0.008%;同时合理控制炉渣成分,要求炉渣具有低氧位及良好的流动性。根据钢中实际铝的质量分数及钢种成品铝质量分数,最终确定钙线加入量,并保证足够的处理时间及软吹效果。此外,针对喂丝机位置的不合理,合理调整喂丝机位置及喂线倾角,如图6所示。通过大量现场喂丝量计算得到钙线收得率。优化钙处理。控制刚中 $w(\text{T[Ca]})/w(\text{T[Al]})$ 在0.08~0.12范围内,如图7所示。



(a) 喂丝机; (b) 示意图。

图6 改造后的喂丝机及示意图

Fig. 6 Transformed wire feeder and schematic

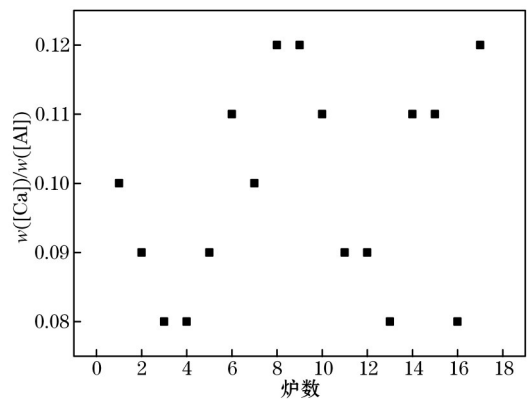


图 7 钙铝比情况
Fig. 7 Calcium-aluminum ratio

3 经济效益

3.1 实施前

2016 年平均连浇炉数 10 炉/浇次;铸坯废品率达 5.34%;耐火材料消耗:中间包单价/每浇次产量=17.07 元/t;钢铁料消耗:每浇次钢水量/每浇次良坯量=1 045.59 kg/t;

3.2 实施后

2017 年平均连浇炉数 15 炉/浇次;铸坯废品率为 0.70%;耐火材料消耗:中间包单价/每浇次产量=30 000 元/2 100 t=14.28 万元/t;钢铁料消耗:每浇次

表 1 包钢铝镇静钢优化方案前后对比

Table 1 Comparison before and after optimization of Baotou Steel's aluminum killed steel

项目			优化前		优化后	
手段	标尺	过程控制	标尺	过程控制	标尺	过程控制
脱氧控制	$\Delta w([Al])$ (LF 进站酸溶铝和离站酸溶铝差)	炉长经验	$\Delta w([Al])$ (LF 进站酸溶铝和离站酸溶铝差)	LF 进站酸溶铝和离站酸溶铝		
调查控制	过程渣物性	炉长经验	脱硫率	渣中碱度, 渣中 FeO+MnO		
钙处理控制	$\Delta w([Ca])/\Delta w([Al])$ (钢水钙与铝的比值)	无条件	Ca/Al (钢水钙与铝的比值)	$w(T[O])<0.001\ 0\%$, $w([S])<0.008\%$		
软吹控制	$w(T[Al])/w([Al_s])$ (钢水全铝与酸溶铝比值)	炉渣微微蠕动	$w(T[Al])/w([Al_s])$ (钢水全铝与酸溶铝比值)	炉渣微微蠕动		

钢水量/每浇次良坯量=1 000 kg×2 100 t/(2 100—80.12) t=1 040 kg/t。

(1) 耐火材料消耗效益提升:(17.07 元/t—14.28 元/t)×2 万 t=5.58 万元;

(2) 钢铁料消耗效益提升:(1 045.59 kg/t—1 040 kg/t)×2 万 t×1.56 元/kg=17.44 万元;

(3) 铸坯合格率提高效益:(5.34%—0.7%)×2 万 t×(2 109—1 360)=69.50 万元;

(4) 合计效益提升:5.58 万元+17.44 万元+69.5 万元=95.52 万元。

通过对包钢铝镇静钢的冶炼方案优化前后进行对比,可以看出改进后的操作工艺显著提升了经济效益,且很大程度上节省了材料消耗,符合国家当前钢铁行业降耗、绿色智能化的发展要求,具有一定的参考价值。

4 结论

(1) 针对包钢铝脱氧钢存在的问题展开分析,从脱氧制度、合理选择渣系等几个方面进行描述,并给

出了具体的优化方案,获得了良好的实际效果。

(2) 采用沉淀脱氧(一次)+扩散脱氧相结合的脱氧制度,针对精炼渣系进行优化,并采用新的成分判定标准;优化钙处理工艺参数,控制钢水成分、调整喂丝机位置及角度等,实行精准钙处理。

(3) 通过对方案优化前后进行比较,优化后获得良好的经济效益,且很大程度上节省了材料消耗,符合国家当前钢铁行业降耗、绿色智能化的发展要求。

参考文献:

[1] 刘学华, 韩传基, 蔡开科, 等. 小方坯连铸低碳低硅铝镇静钢可浇性[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(4): 431. (LIU Xue-hua, HAN Chuan-ji, CAI Kai-ke. Castability of low-carbon low-silicon Al killed steel for billet continuous casting[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2005, 27(4): 431.)

[2] Saxena S K, Sandberg H. Mechanism of clogging of tundish nozzle during continuous casting of aluminum-killed steel[J]. Scan J Metall, 1978, 7(3): 126.

- [3] 董履仁,刘新华. 钢中大型非金属夹杂[M]. 北京:冶金工业出版社,1991.(DONG Lü-ren, LIU Xin-hua. Large Non-metallic Inclusions in Steel[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1991.)
- [4] 刘南,赵保国,辛广胜. 包钢炼钢厂转炉工艺优化[J]. 中国冶金,2017,27(9):38. (LIU Nan, ZHAO Bao-guo, XIN Guang-sheng. Process optimization of converter in Baogang steelmaking plant[J]. China Metallurgy, 2017, 27(9):38.)
- [5] 龚坚. 浸入式水口堵塞机理[J]. 连铸,2001(2):4. (GONG Jian. The plugging mechanism of submerged nozzle[J]. Continuous Casting, 2001(2):4.)
- [6] 马焕珣,王新华,黄福祥,等. 脱氧工艺对低碳铝镇静钢洁净度的影响[J]. 钢铁,2016,51(1):19. (MA Huan-xun, WANG Xin-hua, HUANG Fu-xiang, et al. The influence of deoxidization process on the cleanliness of low carbon aluminum killed steel[J]. Iron and Steel, 2016, 51(1):19.)
- [7] 刘成松,李京社,高晓杰,等. BOF-LF-CC 工艺生产 SPHC 钢的洁净度研究[J]. 钢铁,2015,50(2):27. (LIU Cheng-song, LI Jing-she, GAO Xiao-jie, et al. The cleanliness of SPHC steel produced by BOF-LF-CC process[J]. Iron and Steel, 2015, 50(2):27.)
- [8] 袁晓鹏,李宏,王新华,等. 转炉-ANS-连铸工艺生产低碳铝镇静钢洁净度研究[J]. 钢铁,2003,38(11):15. (YUAN Xiao-peng, LI Hong, WANG Xin-hua, et al. Research on cleanliness of low carbon aluminum killed steel produced by converter-ANS-continuous casting process[J]. Iron and steel, 2003, 38(11):15.)
- [9] 王强. 采用 LD-RH-CC 工艺生产低碳铝镇静钢技术开发与实践[J]. 中国冶金,2015,25(3):25. (WANG Qiang. Development and practice of the production of low-carbon aluminum killed steel using LD-RH-CC technology[J]. China Metallurgy, 2015, 25(3):25.)
- [10] Stone R P. Productivity impotents in steelmaking process control[J]. Iron and Steel Technology, 2006 (1):31.
- [11] 王多刚,虞大俊,左康林. 吹氩钢脱氧铝消耗及脱氧工艺对夹杂物的影响[J]. 钢铁,2017,52(6):45. (WANG Duo-gang, YU Da-jun, ZUO Kang-lin. Argon blowing deoxidation aluminum consumption and deoxidation process on the inclusion effect of[J]. Iron and Steel, 2017, 52(6):45.)
- [12] 蔡开科. 转炉冶炼低碳钢终点氧含量控制[J]. 钢铁,2009,44(5):27. (CAI Kai-ke. Converter steelmaking low carbon steel ends oxygen content control[J]. Iron and Steel, 2009, 44(5):27.)
- [13] 黄希祐. 钢铁冶金原理[M]. 北京:冶金工业出版社,1990. (HUANG Xi-hu. Iron and Steel Metallurgy Principle[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1990.)
- [14] 王盛林,高莉伟. 成本改善在炼钢生产中的实践[J]. 中国冶金,2018,28(4):71. (WANG Sheng-lin, GAO Li-wei. Production practice of steelmaking with low cost[J]. China Metallurgy, 2018, 28(4):71.)

(上接第 13 页)

- [16] YI L Y, HUANG Z C, PENG H. Action rules of H_2 and CO in gas based direct reduction of iron ore pellets[J]. Journal of Central South University, 2012(19):2291.
- [17] HOU B L, ZHANG H Y, LI H Z, et al. Study on kinetics of iron oxide reduction by hydrogen[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2012, 20(1):10.
- [18] 闫龙飞,师学峰,赵凯,等. 高磷鲕状赤铁矿气基竖炉直接还原试验[J]. 钢铁,2018,53(2):14. (YAN Long-fei, SHI Xue-feng, ZHAO Kai, et al. Experiment on direct reduction of gas-based shaft furnace of high phosphorus oolitic hematite[J]. Iron and Steel, 2018, 53(2):14.)
- [19] 何鹏,王海风,高建军. 温度对高磷鲕状赤铁矿含碳球团直接还原影响[J]. 中国冶金,2016,26(4):10. (HE Peng, WANG Hai-feng, GAO Jian-jun. Effect of temperature on direct reduction of carbon bearing pellets of high phosphorus oolitic hematite[J]. China Metallurgy, 2016, 26(4):10.)
- [20] SI X G, LU X G, LI C W, et al. Phase transformation and reduction kinetics during the hydrogen reduction of ilmenite concentrate[J]. International Journal of Minerals Metallurgy and Materials, 2012, 19(5):384.
- [21] ZHAO Z L, TANG H Q, GUO Z C. Effects of CaO on precipitation morphology of metallic iron in reduction of iron oxides under CO atmosphere[J]. Journal of Iron and Steel Research, International, 2013, 20(7):16.
- [22] 贾岩,倪文,郑斐,等. 鲕状赤铁矿深度还原过程中铁粒生长特征研究[J]. 金属矿山,2010,412(10):52. (JIA Yan, NI Wen, ZHENG Fei, et al. Study on the characteristics of iron growth in deep reduction process of oolitic hematite[J]. Metal Mine, 2010, 412(10):52.)
- [23] 马丽,青格勒,田筠清,等. 蛇纹石对磁铁矿和赤铁矿球团的影响[J]. 中国冶金,2015,25(6):21. (MA Li, QING Ge-le, TIAN Yun-qing, et al. Effects of serpentine on magnetite and hematite pellet[J]. China Metallurgy, 2015, 25(6):21.)
- [24] 张伏龙,黄润,张金柱. 贵州鲕状赤铁矿的氢气还原行为[J]. 钢铁研究学报,2016,28(11):23. (ZHANG Fu-long, HUANG Run, ZHANG Jin-zhu. Reduction of Guizhou oolitic hematite by hydrogen[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2016, 28(11):23.)
- [25] 李明明,黄润,钟正,等. 硼砂对高磷鲕状赤铁矿强化还原[J]. 钢铁,2018,53(3):10. (LI Ming-ming, HUANG Run, ZHONG Zheng, et al. Study on the intensive reduction of high phosphorus oolitic hematite by borax[J]. Iron and Steel, 2018, 53(3):10.)