

不同镁质熔剂对烧结性能的影响

刘曙光¹, 刘景权¹, 张永², 魏国良¹

- 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢炼铁厂, 内蒙古包头 014010;
- 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古包头 014010)

摘要:采用红外微型烧结炉对配加白云石、轻烧白云石和蛇纹石在不同MgO含量水平下对铁矿粉的液相流动性和粘结相强度性能的影响进行了研究,结果表明:配加轻烧白云石的烧结性能要优于配加白云石和蛇纹石,主要表现在1280℃铁矿粉液相流动性指数适宜,介于0.6~1.2的范围内,粘结相强度最高为476.6N,适宜的MgO含量为2.0%。烧结杯试验结果显示,配加轻烧白云石的烧结矿,具有低温还原粉化指数高、滴落区间窄和最大压差低的优点。综合比较白云石、轻烧白云石和蛇纹石三种镁质熔剂的烧结性能,认为烧结配加轻烧白云石更有利于烧结矿冶金性能的改善。

关键词:镁质熔剂;液相流动性;粘结相强度;烧结性能

中图分类号:TF046.4

文献标识码:B

文章编号:1009-5438(2023)05-0010-06

Effects of Different Magnesium Fluxes on Sintering Properties

Liu Shu-guang¹, Liu Jing-quan¹, Zhang Yong², Wei Guo-liang¹

- Rare Earth Steel Iron-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
- Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In the paper, the effects of adding dolomite, soft burnt dolomite and serpentine into infrared micro sintering furnace with different content levels of MgO on such properties as the fluidity of liquid phase and strength of bonding phase for iron ore powder are studied. The results showed that the sintering properties of adding soft burnt dolomite were superior to those of adding dolomite and serpentine, which mainly manifested in suitable fluidity index of liquid phase for iron ore powder within 0.6~1.2 at 1280℃, the highest strength of bonding phase was 476.6N and appropriate content of MgO was 2.0%. The sinter pot test results showed that the sinter added with soft burnt dolomite was with such advantages as high low temperature reduction degradation index, narrow drippage interval and small maximum pressure differences. The sintering of adding soft burnt dolomite is considered to be more beneficial to improving metallurgical properties of sinter based on the comprehensive comparisons of sintering properties of such three magnesium fluxes as the dolomite, soft burnt dolomite and serpentine.

Key words: magnesium flux; fluidity of liquid phase; strength of bonding phase; sintering properties

收稿日期:2023-07-05

作者简介:刘曙光(1973-),男,湖南省长沙市人,硕士,高级工程师,现从事白云鄂博精矿配矿及造块新技术、新工艺应用研究工作。

烧结熔剂按成分可分为钙质熔剂和镁质熔剂,钙质熔剂主要有石灰石、生石灰、消石灰等;镁质熔剂主要有白云石、轻烧白云石、高镁粉和蛇纹石等^[1]。烧结过程添加镁质熔剂,一方面可以改善烧结矿低温还原粉化性能,提高烧结矿软化、熔融温度等;另一方面从高炉冶炼的角度,可以增加炉缸热储备,改善炉渣理化性能,有利于低硫、低硅生铁冶炼^[2-3]。近年来,我国烧结矿大部分以高碱度、高SiO₂烧结矿为主,MgO在烧结矿中的作用主要是为了高炉适宜的MgO、Al₂O₃比控制,尤其对于包钢白云鄂博特殊矿冶炼,高MgO含量烧结矿有利于高炉炉渣排碱和脱硫。然而,由于镁质熔剂的种类和化学成分不同,其对烧结过程形成的液相特征也表现出一定的差异性,对烧结过程的影响也不一致,因此,有必要就烧结配加不同种类镁质熔剂的烧结性能进行研究,以优化烧结镁质熔剂结构,为烧结过程配加合理的镁质熔剂及适宜的MgO含量提供理论指导和技术依据。

1 镁质熔剂的理化性能

烧结工艺过程配加的镁质熔剂种类很多,一般而言,白云石、轻烧白云石和蛇纹石是烧结工艺常用的镁质熔剂,其化学成分见表1。

表1 镁质熔剂的化学成分(质量分数) %

名称	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	烧损
白云石	33.15	1.55	18.50	0.29	45.43
轻烧白云石	35.30	0.80	23.85	0.29	38.39
蛇纹石	2.48	34.97	37.83		13.64

白云石:分子式为CaMg(CO₃)₂,属钙镁碳酸盐,具有MgO含量偏低和烧损较高的特点。在烧结过程中易发生分解反应,吸收热量,会使烧结固体燃料消耗量增加。

轻烧白云石:在煅烧白云石工艺基础上经过破碎和加湿处理而得,与白云石相比,具有颗粒均匀细小的特点,矿化反应性能好,有利于烧结过程液相的生成和均匀分布^[4-5]。

蛇纹石:分子式为Mg₆(Si₄O₁₀)(OH)₈,属高镁硅酸盐,具有MgO含量高,烧损低的特点。

2 烧结基础特性研究

铁矿石的烧结基础特性包括同化性、液相流动性、粘结相强度、连晶特性及和铁酸钙生成特性等五

种高温性能,是评价铁矿石对烧结过程以及烧结矿质量影响的基本指标。由于MgO含量主要体现在对铁矿粉的液相流动性和粘结相强度上,因此本研究只考虑镁质熔剂对铁矿粉液相流动性和粘结相强度的影响。试验方法分别在铁矿粉中配加不同比例的白云石、轻烧白云石和蛇纹石,控制铁矿粉MgO含量分别在1.5%、2.0%、2.5%的水平,分析铁矿粉液相流动性指数和粘结相强度随温度和MgO含量的变化规律。

2.1 配加镁质熔剂对铁矿粉液相流动性的影响

铁矿粉液相流动性指铁矿石在烧结生产过程中与CaO反应生成的液相的流动能力,它表征铁矿石在烧结过程中粘结相的“有效粘结范围”。液相流动性测定方法:采用“基于流动面积的黏度测定方法”,将小于0.15 mm的CaO和铁矿粉按二元碱度4.0配成烧结粘附粉,混匀后压制成小饼。根据试验设定的升温曲线(最高1 280 ℃,恒温4 min)和试验气氛在微型烧结装置中进行烧结。随着温度的逐渐升高,试样开始形成低熔点化合物,当烧结温度达到该化合物的熔化温度时试样逐渐瘫软,液相开始生成,随着温度的继续升高,过热度增大,液相逐渐呈流动状态,试样的垂直投影面积变大。试验结束,冷却后取出测定小饼烧结前后的面积,根据试样流动后的面积来确定其流动性。流动性指数按下式进行计算:

$$\text{流动性指数} = \frac{\text{流动面积} - \text{小饼原始面积}}{\text{小饼原始面积}} \quad (1)$$

试验分别针对白云石、轻烧白云石、蛇纹石三种镁质熔剂,探究不同温度(1 260 ℃、1 280 ℃、1 300 ℃、1 320 ℃)和不同MgO含量(1.5%、2.0%、2.5%)在碱度为4.0的条件下,对铁矿粉液相流动性能的影响。结果如图1、图2所示。

由图1可知,在MgO含量一定的情况下,配加白云石、轻烧白云石和蛇纹石的铁矿粉在1 260 ~ 1 320 ℃的温度范围内,铁矿粉液相流动性指数与温度之间呈现出明显的正相关关系,液相流动性随温度提高显著增加。

由图2可知:

(1)在不同温度和不同MgO含量条件下,配加蛇纹石对铁矿粉液相流动性能影响最大,其液相流动性指数是配加白云石和轻烧白云石的一倍多。这是由于蛇纹石属于高镁硅酸盐,烧损低,矿化反应充分,液相生成能力强所致^[6-7]。

(2)在相不同温度和不同 MgO 含量条件下,配加轻烧白云石的液相流动性能略优于配加白云石,且随着温度升高,这种性能差异越大。这是由于轻烧白云石粒度均匀、细小,矿化反应充分,有利于液相的生成。

(3)当 MgO 含量为 2.0% 时,配加白云石和轻

烧白云石的铁矿粉液相流动性能最优,当 MgO 含量为 2.5% 时,液相流动性指数下降。这是由于 MgO 属于高熔点物质,随着 MgO 含量增加,烧结矿矿物组成和结构发生变化,难熔物相的形成使得烧结粘结相的形成温度升高,导致形成的液相黏度变大,液相流动性能变差^[8-9]。

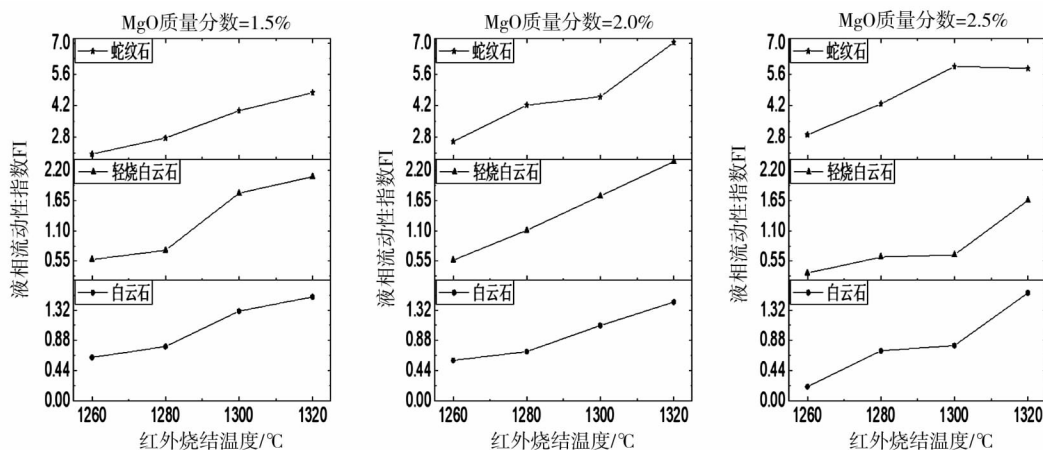


图 1 烧结温度对配加不同镁质熔剂的铁矿粉液相流动性能

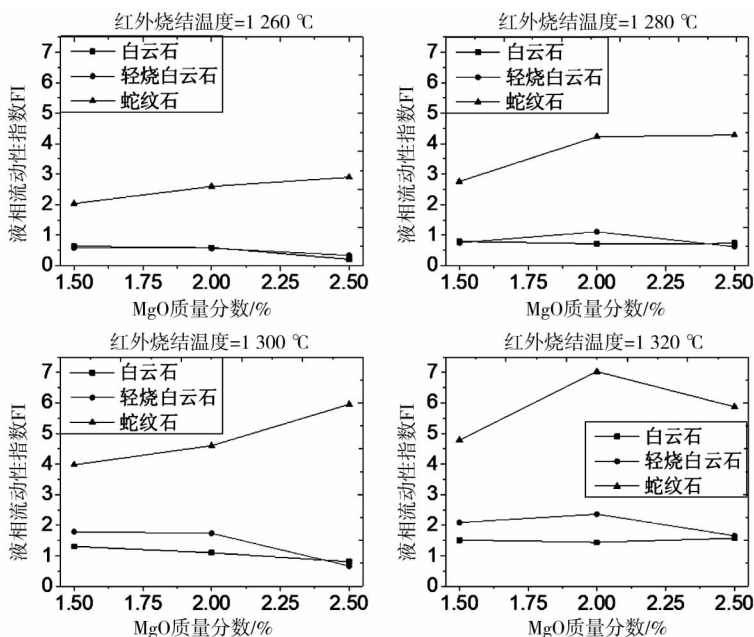


图 2 镁质熔剂在不同 MgO 含量下铁矿粉液相流动性能

2.2 配加镁质熔剂对铁矿粉粘结相强度的影响

铁矿粉粘结相强度指铁矿石在烧结生产过程中能够形成的液相对其周围的核矿石进行固结的能力,它对烧结矿的强度有至关重要的影响。粘结相

强度测定方法:将小于 0.15 mm 的 CaO 和铁矿粉按二元碱度 2.0 配成烧结粘附粉,混匀后压制成小饼,根据试验设定的升温曲线(最高 1 280 °C,恒温 4 min)和试验气氛在微型烧结装置中进行烧结。冷

却后取出测定小饼的抗压强度,以此评价铁矿粉粘结相的自身强度。配加不同镁质熔剂的铁矿粉粘结相强度如图3所示。

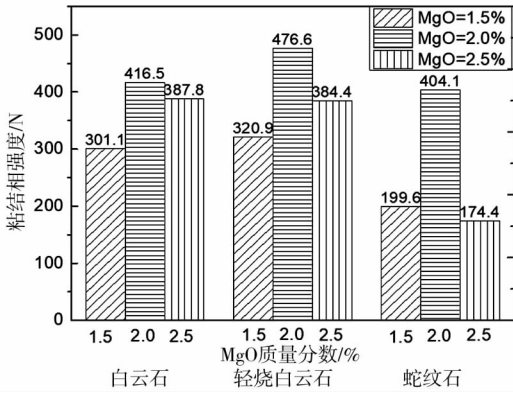


图3 不同MgO含量下铁矿粉粘结相强度

由图3可知:

(1)配加不同种类镁质熔剂,随着MgO含量增加,铁矿粉粘结相强度均表现出一致的变化规律,即铁矿粉粘结相强度随着MgO含量增加均表现出先增加后降低的规律,当MgO含量为2.0%时,铁矿粉的粘结相强度达到峰值,当MgO含量为2.5%时,粘结相强度降低。这是由于MgO熔点较高,在相同的镁质熔剂配加条件下,随着MgO含量增加,液相黏度增大,流动性降低;当MgO含量为2.0%时,低熔点物质生成较多,液相流动性最大,液相粘结周围物

料的固结能力达到最高,因此粘结相强度在MgO含量为2.0%时达到峰值;当MgO含量继续增加至2.5%时,烧结矿物相组成变复杂,矿相结构均匀性降低,易形成以玻璃相形式存在的橄榄石类矿物,该类矿物在冷凝时应力集中,使玻璃相产生裂纹^[10-12],且烧结液相黏度增大,流动性能变差,导致液相粘结周围物料的能力和强度变差,粘结相强度降低。单从镁质熔剂对铁矿粉粘结相强度的影响角度分析,白云石、轻烧白云石和蛇纹石的适宜MgO含量应控制为2.0%的水平。

(2)在相同MgO含量的条件下,配加三种镁质熔剂的铁矿粉粘结相强度排序为轻烧白云石、白云石、蛇纹石。单从铁矿粉粘结相强度的角度分析,配加轻烧白云石有利于粘结相强度的提高。

3 烧结杯试验

3.1 烧结杯试验方案及参数控制

分别在相同的铁矿粉中配加不同比例的白云石、轻烧白云石和蛇纹石,分析烧结矿冶金性能的变化,方案编号分别为B、Q、S。采用直径200mm烧结杯,料层厚度为700mm,点火负压为4.9kPa,烧结负压为9.8kPa,烧结矿碱度控制为2.0,MgO含量为2.0%,SiO₂含量为4.9%。

3.2 烧结技术指标

配加不同镁质熔剂的烧结技术指标见表2。

表2 烧结技术指标

试验编号	干烧成率/%	成品率/%	利用系数/(t·m ⁻² ·h ⁻¹)	垂速/(mm·min ⁻¹)	固体燃耗/(kg·t ⁻¹)	转鼓强度(+6.3mm)/%
B	90.51	68.01	1.620	26.41	70.08	61.47
Q	89.97	67.31	1.617	26.09	69.05	61.07
S	90.44	67.45	1.609	25.90	64.12	65.07

由表2可知,配加白云石、轻烧白云石和蛇纹石三种镁质熔剂对烧结技术指标的影响主要体现在固体燃耗和转鼓强度上,其中配加蛇纹石的固体燃耗较配加白云石和轻烧白云石低约5kg/t,转鼓强度高约4个百分点。这是由于白云石和轻烧白云石烧损高,在高温烧结过程中易发生分解反应,吸收热量多,不利于MgO的矿化反应,不仅使得烧结过程的高温保持时间延长,固体燃料消耗增加,而且由于结晶水分解使得烧结矿孔隙率增加,易形成大孔薄壁

结构^[13-15],导致烧结矿转鼓强度降低。而蛇纹石在高温烧结过程中发生分解反应生成镁橄榄石,镁橄榄石重结晶形成低熔点粘结相,并发生放热效应,促进了烧结过程中MgO的矿化反应,粘结相产生量增加,改善了矿物结晶行为和过程^[16-18],烧结矿转鼓强度提高。

通过比较配加白云石、轻烧白云石和蛇纹石三种镁质熔剂的烧结技术指标可知,配加蛇纹石有利于降低烧结固体燃耗和提高转鼓强度。

3.3 烧结矿冶金性能

烧结矿冶金性能包括低温还原粉化指数 $RDI_{+3.15\text{ mm}}$ 和软融性能^[19]。烧结矿低温还原粉化实验采用 GB/T 13242—1991 标准。软融性能采用包钢的检测方法,烧结矿试样及焦炭粒度均为 10~12.5 mm 粒级,试验过程升温速度模拟高炉内炉料的升温速度,主要分为 3 个阶段,分别为 0~1 000 °C,10 °C/min(100 min);1 000~1 100 °C,

2 °C/min(50 min);大于 1 100 °C,5 °C/min。试验期间,温度在 500 °C 以下通 4 L/min 的 N_2 ,温度达到 500 °C 以上通入 4 L/min 的混合煤气(30% CO + 70% N_2)至试验结束。试验荷重为 1.0 kg/cm²,相当于 2 000 m³ 级高炉软熔带部位的荷重^[20]。配加不同镁质熔剂的烧结矿冶金性能见表 3。

表 3 烧结矿冶金性能

实验编号	RI /%	$RDI_{+3.15\text{ mm}}$ /%	软融性能							
			$T_4/^\circ\text{C}$	$T_{10}/^\circ\text{C}$	$T_{40}/^\circ\text{C}$	$T_{40} - T_4/^\circ\text{C}$	$T_s/^\circ\text{C}$	$T_D/^\circ\text{C}$	$T_D - T_s/^\circ\text{C}$	$\Delta P_{\text{max}}/\text{Pa}$
B	63.92	73.7	1 081	1 125	1 250	169	1 247	1 521	274	17 801
Q	68.37	79.7	1 094	1 130	1 257	163	1 252	1 486	234	10 643
S	68.62	70.6	1 057	1 095	1 231	174	1 245	1 553	308	12 125

由表 3 可知,配加白云石的烧结矿还原性(RI)最低,最大压差(ΔP_{max})高达 17 801 Pa,不能满足高炉冶炼需求;配加蛇纹石的烧结矿低温还原粉化指数($RDI_{+3.15\text{ mm}}$)最低,为 70.6%,且滴落区间($T_D - T_s$)较宽,最大压差最低。三种镁质熔剂中,配加轻烧白云石的烧结矿冶金性能指标最优,主要体现在烧结矿低温还原粉化指数($RDI_{+3.15\text{ mm}}$)最高,滴落区间($T_D - T_s$)最窄,以及最大压差(ΔP_{max})最低。

从镁质熔剂对烧结矿冶金性能的影响分析,配加轻烧白云石有利于低温还原粉化的提高和最大压差(ΔP_{max})的降低,高炉冶炼过程中料柱透气性得到改善^[21-23]。

4 结论

(1)从化学成分的角度分析,三种镁质熔剂中,蛇纹石具有 MgO 和 SiO_2 含量高且烧损低的特点,适宜用于需要补充 SiO_2 和 MgO 含量的烧结铁料结构。

(2)镁质熔剂对铁矿粉烧结基础特性的影响主要表现在液相流动性能和粘结相强度。研究表明,在不同的烧结温度条件下,当 MgO 含量为 2.0% 时,配加三种镁质熔剂的液相流动指数和粘结相强度均达到最优,对铁矿粉液相流动性指数影响大小排序为蛇纹石、轻烧白云石、白云石,其中蛇纹石对铁矿粉液相流动性影响最大,其液相流动性指数是配加

白云石和轻烧白云石的一倍多;对铁矿粉粘结相强度的影响大小排序为轻烧白云石、白云石、蛇纹石。比较三种镁质熔剂在不同 MgO 含量条件下对铁矿粉基础特性的影响可知,烧结配加镁质熔剂适宜的 MgO 含量应控制在 2.0% 的水平,其中配加轻烧白云石的烧结试样液相流动性和粘结相强度性能最优。

(3)配加镁质熔剂的烧结杯试验研究表明,烧结配加蛇纹石有利于烧结矿转鼓强度提高,固体燃耗降低;配加轻烧白云石的烧结矿具有良好的冶金性能,主要表现在烧结矿低温还原粉化指数($RDI_{+3.15\text{ mm}}$)最高,为 79.7%,滴落区间($T_D - T_s$)最窄,为 234 °C,最大压差(ΔP_{max})最低,为 10 643 Pa,有利于高炉冶炼过程料柱透气性的改善,促进高炉顺行稳定。烧结生产实践过程中,应根据自身烧结工艺特点和烧结矿性能选择适宜的镁质熔剂进行配加。

参 考 文 献

- [1] 彭伟,毕学工,周进东,等.武钢烧结适宜 MgO 含量的试验研究[J].烧结球团,2014,39(3):8.
- [2] 姚君豪,杨军,韩东,等.添加剂对高 MgO 烧结矿中铁酸钙生成的影响[J].钢铁,2015,50(2):16.
- [3] 左静宇,白雄飞.石钢提高烧结矿中 MgO 含量探讨[J].河北冶金,2013(5):2.

- [4] 周清林,张铁梁. 韶钢烧结熔剂结构优化生产实践[J]. 南方金属,2016(5):31.
- [5] 王天雄,丁成义,吕学伟. 烧结原料理论液相量对烧结矿质量的影响[J]. 钢铁研究学报,2016,28(9):29.
- [6] 代汝昌. 烧结生产用熔剂结构优化的工业试验[J]. 山东冶金,2004,26(2):40.
- [7] 武軼,刘自民,李小静,等. 烧结矿中适宜 MgO 含量的研究[J]. 钢铁研究,2016,44(3):7.
- [8] 吴胜利,韩宏量,姜伟忠,等. 烧结矿中 MgO 作用机理[J]. 北京科技大学学报,2009,31(4):430.
- [9] Yadav U S, Pandey B D, Das B K, et al. Influence of Magnesia on Sintering Characteristics of Iron Ore[J]. Ironmaking & Steelmaking, 2002,29(2):91.
- [10] 张中中,阮志勇,罗秀传,等. MgO 对烧结过程及烧结性能影响的试验研究[J]. 柳钢科技,2014(1):7.
- [11] 姜鑫,吴钢生,金明芳,等. MgO 对烧结矿软熔性能的影响[J]. 东北大学学报,2006,27(12):1359.
- [12] Shen F M, Wu G S, Jiang X. A New Process of Proper MgO Addition in Blast Furnace Operation[C]. //Proceedings of Commemorative International Symposium on Ironmaking Process and Environment. Seddai:Tohoku University,2005:25.
- [13] 客海滨,张玉柱,王丽丽,等. 不同 MgO 含量对烧结矿质量的影响[J]. 河南冶金,2007,15(1):9.
- [14] 熊飞武,胡宾生. 蛇纹石对唐钢烧结过程的影响[J]. 河北理工大学学报,2011,33(1):34.
- [15] 李广彬,李华,王静松,等. 不同镁质熔剂对烧结矿质量影响的实验研究[J]. 烧结球团,2012,37(6):2.
- [16] Fengman Shen, Xin Jiang, Gangsheng Wu, et al. Proper MgO Addition in Blast Furnace Operation[J]. ISIJ International,2006,46(1):65.
- [17] 周春江,刘其敏. 邯钢提高烧结矿中 MgO 含量的实践[J]. 烧结球团,2005,30(6):39.
- [18] 王筱留. 钢铁冶金学:炼铁部分[M]. 北京:冶金工业出版社,2004.
- [19] 张芳,李荣,罗果萍,等. 包钢低硅烧结矿的冶金性能[J]. 钢铁研究学报,2013,25(2):5.
- [20] 冯宛琴,纪福忠. 包钢烧结矿软熔性能研究[J]. 包钢科技,1996,22(3):42.
- [21] 于素荣,于淑娟,刘艳辉,等. MgO 含量对烧结矿烧结指标及冶金性能的影响[J]. 鞍钢技术,2008(5):25.
- [22] 高丙寅,张春,陈伟,等. 原料结构对高 MgO 烧结矿生产的影响[J]. 河南冶金,2006,14(4):13.
- [23] 赵艳霞,罗果萍,郝志忠,等. MgO 对包钢烧结矿粘结相性能的影响[J]. 内蒙古科技大学学报,2008,27(1):7.