提高白云鄂博铁精矿碱性氧化球团矿抗压强度研究

付国伟[1], 李 杰[2], 苏 龙[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢还原铁有限责任公司, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘 要: 包钢以自产白云鄂博铁精矿为主, 搭配部分区内磁铁精矿, 应用链篦机—回转窑—环冷机工艺制备碱性氧化球团矿用于高炉炼铁生产。碱性氧化球团矿工业化生产初期, 生球致密性差, 粘结剂配比高, 成品球抗压强度低, 工艺系统粉末量大, 环冷机下红料现象频出, 影响现场生产。为解决上述球团生产实际问题, 针对提高碱性氧化球团矿抗压强度进行了球团生产用料性能优化。通过运行高压辊磨工艺处理碱性氧化球团矿生产用矿, 球团生产用料比表面积提高, 碱性氧化球团矿抗压强度由 2 098 N 提高到 2 358 N, 工艺系统粉末量显著减少, 环冷机下红料现象得到明显减少。

关键词: 白云鄂博铁精矿; 碱性氧化球团矿; 抗压强度; 铁矿比表面积; 高压辊磨
中图分类号: TF046 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009 - 5438(2025)06 - 0023 - 03

Research on Improving Compressive Strength of Alkaline Oxide Pellet Prepared with Iron Ore Concentrate of Bayan Obo

Fu Guowei[1], *Li Jie*[2], *Su Long*[2]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Inner Mongolia Baotou Steel Reduced Iron Co., Ltd., Bayannur* 015000, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The alkaline oxide pellet used for blast furnace ironmaking production in Baotou Steel is prepared with self - produced iron ore concentrate of Bayan Obo and part of Inner Mongolia magnetite concentrate by process of traveling grate - rotary kiln - rotating annular cooler. In the initial stage of industrial production of alkaline oxide pellet, the compactness of green pellet is poor, proportion of binder is high, compressive strength of finished pellet is low, amount of powder in process system is great and hot pellet is frequently discharged from rotating annular cooler so that on - site production is affected. In order to solve the above practical problems in pellet production, the performances of raw materials used in pellet production are optimized to improve compressive strength of alkaline oxide pellet. The specific surface area of raw materials used in pellet production is increased, compressive strength of alkaline oxide pellet is improved from 2 098 N to 2 358 N, amount of powder in process system is significantly reduced and the phenomenon of hot pellet discharged from rotating annular cooler is significantly reduced by processing the ore used for production of alkaline oxide pellet with the process of high - pressure roller grinding.

收稿日期: 2025 - 08 - 06
作者简介: 付国伟(1986 -), 男, 山西省阳高县人, 高级工程师, 现从事球团技术研发工作。

Key words: iron ore concentrate of Bayan Obo; alkaline oxide pellet; compressive strength; specific surface area of iron ore; high - pressure roller grinding

白云鄂博矿是一种富含铁、稀土、铌、萤石的战略资源,是包钢的自有矿产,开采矿点主要为主东矿和巴润矿[1,2]。其中,经选矿工艺获取的白云鄂博铁精矿是包钢铁前工序炼铁原料主要用矿,具有"CaO 含量高、SiO_2 含量低、粒度细"的特点,适合生产碱性氧化球团矿[3,4]。不同矿区白云鄂博原矿性能存在差异(如有价元素赋存形式、矿物组成等),对应选矿工艺流程有所差别,各矿区选别出的白云鄂博铁精矿性能相异[5]。

包钢以链篦机 - 回转窑 - 环冷机工艺生产碱性氧化球团矿初期,由于大比例应用了一种比表面积低、硫含量、碱金属含量及氟含量较高的白云鄂博铁精矿,球团生产时生球致密性差,粘结剂配比高,成品球抗压强度低,工艺系统粉末量大,环冷机下红料现象频出,影响现场生产组织计划及高炉炼铁原料供应。为解决生产实际问题,提高碱性氧化球团矿抗压强度,经生产技术人员与科研人员反复论证,拟运行高压辊磨工艺处理碱性氧化球团矿生产用料,以改善碱性氧化球团矿质量,协调现场生产组织,提高生产效率。

1 碱性氧化球团矿生产用料性能分析

包钢碱性氧化球团矿生产用料性能见表1。由表1可见,白云鄂博铁精矿自然碱度较高,为1.77,大比例应用该铁精矿生产碱性氧化球团矿可降低石灰石配比。但由于其比表面积低,成球性差,在一定程度上使包钢碱性氧化球团矿抗压强度偏低,生产过程中链篦机 - 回转窑 - 环冷机工艺系统粉末量大,影响现场生产效率。

表1 试验原料物化性能

原料名称	化学成分(质量分数)/%									比表面积 /($cm^2 \cdot g^{-1}$)
	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	F	S	K_2O	Na_2O	
白云鄂博铁精矿	64.51	28.47	2.16	1.22	1.40	0.34	0.900	0.114	0.066	863.91
普通铁精矿	65.07	28.56	1.55	3.27	0.98	<0.05	0.315	0.081	0.058	1 108.01
石灰石			53.58	1.72	0.40			0.110	0.027	-

为缓解白云鄂博铁精矿,比表面积低、成球性差导致碱性氧化球团矿生产时生球致密度低、成品球团矿抗压强度低及链篦机—回转窑—环冷机工艺系统粉末量大的痛点,包钢碱性氧化球团矿工业生产增设了高压辊磨工艺处理球团用料。

运行高压辊磨工艺前后,碱性氧化球团矿生产用料性能分析见表2。由表2可见,运行高压辊磨后,碱性氧化球团矿生产用混合铁料比表面积提高353 cm^2/g,生产现场实际膨润土配比降低约0.5个百分点,生球致密性提高,混合铁料的超细粒级颗粒占比提高,有利于铁矿物颗粒在预热焙烧过程中的连晶。

表2 运行高压辊磨前后碱性球团矿生产用混合铁料性能分析

项目	堆密度 /($g \cdot cm^{-3}$)	真密度 /($g \cdot cm^{-3}$)	最大分子水 /%	最大毛细水 /%	成球性 K值	毛细水迁移速率 /($mm \cdot min^{-1}$)	比表面积 /($cm^2 \cdot g^{-1}$)	-0.074 mm 占比/%	-0.045 mm 占比/%
辊磨前	1.94	4.41	2.43	15.66	0.18	11.02	943	90	70
辊磨后	1.90	4.37	2.99	14.75	0.25	10.15	1 296	92	78

2 碱性氧化球团矿性能分析

2.1 抗压强度

运行高压辊磨工艺前后,碱性氧化球团矿抗压强度见表3。碱性氧化球团矿生产主要热工参数见表4。在碱性氧化球团矿生产热工参数控制稳定的前提下,应用高压辊磨工艺处理碱性氧化球团矿生产用混合铁料后,成品氧化球团矿抗压强度由2 098 N

提高至 2 358 N,成品氧化球团矿抗压强度提高 260 N。

表 3　高压辊磨工艺前后碱性氧化球团矿抗压强度 N

项目	抗压强度
高压辊磨前	2 098
高压辊磨后	2 358

2.2　孔隙率

运行高压辊磨工艺前后,碱性氧化球团矿孔隙率见表 5。由表 5 可知,高压辊磨工艺处理球团矿生产用混合铁料后,碱性氧化球团矿成品球孔隙率降低 1.48 个百分点,表明成品球中铁矿物颗粒连晶明显变好,致密性提高。

表 4　碱性氧化球团矿生产主要热工参数

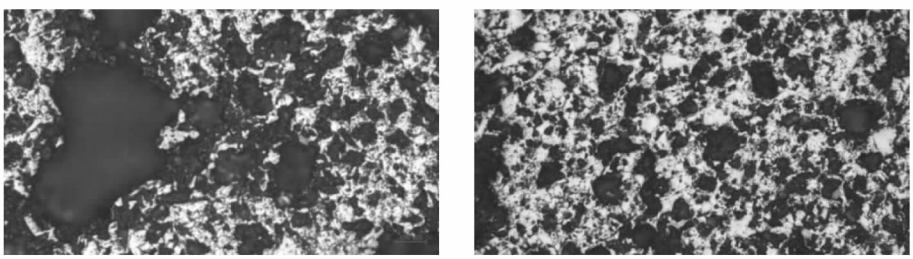
高压辊磨工艺	链篦机料层厚度/mm	链篦机机速/(m·min^{-1})	温度/℃						
			鼓干段风箱	抽干段烟罩	预热一段烟罩	预热二段烟罩	环冷一段	环冷二段	环冷三段
未运行	180	1.75	220	338	700	1 035	1 025	840	390
已运行	182	1.75	234	350	699	1 036	1 038	834	399

表 5　高压辊磨工艺前后碱性氧化球团矿孔隙率 %

项目	孔隙率
高压辊磨前	29.46
高压辊磨后	27.98

2.3　岩矿相

运行高压辊磨工艺前后,碱性氧化球团矿岩矿相见图 1。由图 1 可知,从矿物组成来看,运行高压辊磨工艺前后,碱性氧化球团矿矿物组成均以赤铁矿为主,有少量硅酸盐、残留脉石及铁酸钙;混合铁料未经过高压辊磨处理的焙烧球团矿碱性氧化球团矿内的赤铁矿晶粒较大,孔隙率较高,孔隙的尺寸较大且不均匀的分布在球团矿基体上,赤铁矿晶粒之间的连晶程度较弱;混合铁料经高压辊磨处理后的碱性氧化球团矿内的赤铁矿晶粒尺寸较小,晶粒之间的连晶程度较高且少量的液相填充在晶粒之间,仅少量且尺寸较小的孔隙分布在球团矿基体上。



(a) 高压辊磨前　　(b) 高压辊磨后

图 1　高压辊磨前后碱性氧化球团矿成品球岩矿相分析

可见,经过高压辊磨工艺处理后,增加了铁精矿的超细粒级颗粒占比,超细粒级颗粒填充了大颗粒之间的孔隙,提高了原料的成球性及生球密实性,有助于增强预热焙烧过程中铁矿物颗粒之间的接触,增加了铁矿物颗粒之间的连晶,降低了焙烧球团矿的孔隙率,有效提高了成品球抗压强度。

3　结束语

包钢以大比例白云鄂博铁精矿生产碱性氧化球团矿,需应用高压辊磨工艺处理球团生产用混合铁料,从而增加混合铁料超细粒级颗粒占比,促使超细粒级颗粒有效填充大颗粒之间孔隙,提高原料成球性及生球密实性,增强预热焙烧过程中铁矿物颗粒之间的接触及铁矿物颗粒之间的连晶,降低焙烧球团矿的孔隙率,有效提高成品球抗压强度,降低链篦机 – 回转窑 – 环冷机工艺系统粉末量。

(下转第 30 页)

80 mg/L、最高为 120 mg/L,大部分时间维持在100 mg/L以下。补水为外供水源且供水部门且未实施 Cl^- 含量高的处理措施,补水 Cl^- 含量高的情况也只能被动接受。

4.2.3 排污方式的选择

对于 CCPP 1#、2#机组的 EP(湿式电除尘),针对多年前已实施循环水综合利用改造。EP 用水量为 20 m^3/h,改造方式是通过加装阀门和管路。在循环水系统需要排污时,将 CCPP 机组 EP 用水(用于冲洗 EP 阴、阳极板的附着物用水)水源,由一次过滤后水切换到循环水。通过 EP 使用循环水减少一次滤后水的观察,实现节水。通过多年使用,EP 使用循环水并不会对 EP 的运行有影响。检测到补水中 Cl^- 含量超过 115 mg/L 且小于 140 mg/L 时,循环水中 Cl^- 含量还在继续增大时,将 CCPP 1#机组 EP 水源由一次滤后水切换到循环水,循环水中 Cl^- 含量可以控制在小于 500 mg/L 范围内。当补水中 Cl^- 含量大于 140 mg/L 时,除 EP 使用循环水外,还需要排污才能将循环水中 Cl^- 含量控制在小于 500 mg/L范围内。

5 节水创效

循环水治理技术的使用,从根本上改变了传统敞开式循环水系统运行时,必须采用排污和加阻垢剂的运行模式,实现了水资源利用效率的提升。项目投运后,CCPP 1#机组年节水量达 38.14 万 m^3,按照一次过滤后水单价为 6.12 元/m^3,年节约水费约为 233.42 万元。同时,零药剂添加计算减少了阻垢剂、杀菌剂等化学药剂的使用成本(年节约人工、药剂费用约 15 万元),并规避了化学排污对周边环境的污染风险,循环水治理技术的实施产生了良好的经济效益与环境效益。

6 结束语

鉴于 CCPP 1#机组循环水治理技术投运后达到的预期效果,2025 年 7 月,CCPP 2#机组循环水治理项目开工建设。解决了 1#机组调试过程中出现的问题。同时,提升了水处理能力,当补水中 Cl^- 含量大于 140 mg/L 时,也可以实现循环水的“近零排污”。

循环水治理技术的使用,实现近零排污,节省了水资源和加药剂费用,但敞开式循环水系统在运行过程中,存在蒸发损失、飘散损失。为维持吸水井水位,循环水系统还需大约为 200 m^3/h 左右的补水量,造成水资源的消耗。如果把敞开式循环水系统改造为闭式循环水系统,就可以真正实现水资源的零消耗。改造成闭式水系统存在的问题是水的冷却和水处理,如果探索把冷却技术应用到闭式循环水的冷却上,再把闭式循环水的水质更换为软水(除盐水),闭式循环水系统就不再需要水处理和排污,将彻底解决循环水系统内设备(设施)的结垢问题,真正实现生产过程的节能降耗,为发电厂循环水系统的绿色升级提供可复制的技术范例。

参 考 文 献

[1] 杨顺虎. 燃气 - 蒸汽联合循环发电设备及运行[M]. 中国电力出版社,2003.

[2] 武冠英,吴一弦. 控制阳离子聚合及其应用[M]. 化学工业出版社,2005.

[3] 张新安. 量子波本质探讨[M]. 西安交通大学出版社,2014.

(上接第 25 页)

参 考 文 献

[1] 魏国良,刘曙光,韩峰,等. 包钢带式球团配加外购高硅矿可行性试验研究[J]. 包钢科技,2025,51(3):29 - 32.

[2] 刘吉涛,张国成,罗果萍,等. 包钢氧化球团回转窑结圈原因研究[J]. 烧结球团,2013,38(5):31 - 35.

[3] 付国伟,邬虎林. 包钢球团配加废镁碳砖开发镁质氧化球团的试验研究[J]. 烧结球团,2016,41(4):34 - 38,61.

[4] 张红强,张婧,罗果萍,等. 硫含量对白云鄂博铁精矿球团显微结构及抗压强度的影响[J]. 烧结球团,2018,43(3):52 - 57,62.

[5] 付国伟,白晓光,吕志义. 包钢石灰石型碱性球团试验研究[J]. 包钢科技,2022,48(5):15 - 19.