

# 包钢链-回-环工艺球团配加细磨超特粉试验研究

付国伟, 吕志义, 白晓光

(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:** 文章以包钢链篦机-回转窑-环冷机工艺生产酸性球团矿原料配置为基础, 系统考察了细磨超特粉替代区内铁精矿对球团矿生产过程及球团矿性能的影响。同时, 基于细磨超特粉低硫的特点, 探索了巴润精矿在球团矿生产中最大配比。结果表明, 包钢球团配加细磨超特粉有明显降低膨润土配比的作用, 当细磨超特粉配比为10%时, 膨润土配比可由2.0%降低至1.2%, 降低幅度较大。细磨超特粉配比为5%~20%时, 生球、干球性能指标均可满足球团矿生产需求。焙烧温度为1 220~1 240 °C条件下, 不同细磨超特粉配比下制备的成品氧化球团矿抗压强度均达到2 500 N以上, 还原膨胀率低于20%, 满足高炉生产要求。兼顾球团矿品位及 $Al_2O_3$ 含量, 建议链篦机-回转窑-环冷机工艺生产球团铁料配置为10%细磨超特粉+50%~60%巴润精矿+30%~40%区内精矿。在细磨超特粉配比为10%、膨润土配比为1.2%原料条件下, 巴润精矿最大配比可达60%。

**关键词:** 细磨超特粉; 酸性氧化球团矿; 球团矿性能; 铁料配置

中图分类号: TF046

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)05-0016-06

## Experimental Study on Pellets with Addition of Finely Ground Super Special Powder in Process of Traveling Grate - Rotary Kiln - Rotating Annular Cooler of Baotou Steel

*Fu Guo - wei, Lv Zhi - yi, Bai Xiao - guang*

*(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)*

**Abstract:** In this paper, the effects of replacing iron ore concentrate of Inner Mongolia Autonomous Region with finely ground super special powder on production process and properties of pellet are systematically investigated based on the configuration of raw materials of producing acid pellet with the process of traveling grate - rotary kiln - rotating annular cooler of Baotou Steel. Meanwhile, the maximum proportion of Barun concentrate in producing pellet is explored based on the characteristics of low sulfur for finely ground super special powder. The results showed that the proportion of bentonite could be reduced obviously by adding the finely ground super special powder into pellet of Baotou Steel. When the proportion of finely ground super special powder is 10%, proportion of bentonite could be reduced from 2.0% to 1.2%, which is a significant reduction. When the proportion of finely ground super special powder is 5%~20%, performance indexes of green pellets and dry pellets could all meet production requirements of pellets. Under the condition of calcination temperature of 1 220~1 240 °C, the compressive strengths of finished product, oxidized pellets prepared with different proportions of finely ground super special powder all reach over 2 500 N and reduction swelling rate is lower than 20%, which could meet the requirements of blast furnace production. It is suggested to produce pellets with the configuration of iron charge of 10%

收稿日期: 2023-08-09

作者简介: 付国伟(1986-), 男, 山西省大同市人, 硕士, 高级工程师, 现从事高炉炼铁原料技术研究工作。

finely ground super special powder + 50% ~ 60% Barun concentrate + 30% ~ 40% iron ore concentrate of Inner Mongolia Autonomous Region for the process of traveling grate - rotary kiln - rotating annular cooler considering the grade of pellets and content of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Under the raw material condition of 10% finely ground super special powder and 1.2% bentonite, the maximum proportion of Barun concentrate could reach 60%.

**Key words:** finely ground super special powder; acid oxidized pellet; properties of pellet; configuration of iron charge

球团铁料配置的经济性,直接关系到氧化球团矿生产成本,国内各钢铁企业一直致力于寻求经济的球团铁料配置<sup>[1-5]</sup>。目前,包钢球团生产共计3条产线,总产能860万t/年。球团产线主要配矿结构为自产精矿占20%~50%,区内铁精矿占50%~80%。区内精矿资源有限,冬季部分区内铁矿会停产,多年来一直存在冬季球团用区内精矿供应紧张的情况。同时随着包钢对区内精矿采购量的增加,区内精矿采购价格也会随之上涨,导致球团矿经济性变差。基于上述的情况,有必要拓展球团产线铁矿石资源,寻找区内铁精矿的替代资源。包钢曾采购蒙古原矿经选矿生产铁精矿供球团使用,但由于蒙古矿S含量较高,导致选矿选比高,浮选脱S成本较高,选矿生产的铁精矿成本一直高于区内铁精矿,对球团配矿成本影响较大,因此基于包钢原料条件研究使用一定比例经济性好的海运褐铁矿替代区内精矿,对于实现包钢球团用铁精矿采购战略调整、降低球团配矿成本、实现球团矿产质量指标改善具有

重大意义。

超特粉是一种铁品位较低、 $\text{SiO}_2$ 与 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量较高的澳大利亚进口褐铁矿,其化学成分稳定,烧损一般在8.5%~9.5%,具有明显的供货和价格优势<sup>[6]</sup>。采用细磨超特粉代替区内铁精矿,是包钢球团工艺生产线维持稳定原料来源和降低生产成本的重要途径。基于此,本文在实验室系统研究细磨超特粉对比对生球性能、干球性能、预热球性能及成品球性能的影响规律,提出包钢球团适宜的细磨超特粉配比及工艺制度,可为下一步进行工业化应用奠定基础。

## 2 试验原料及性能

### 2.1 试验原料的化学成分及粒度

本试验所用铁料主要有巴润精矿、区内精矿和细磨超特粉(褐铁矿),化学成分及粒度如表1所示,细磨超特粉为实验室用球磨机将烧结用超特粉磨至粒度小于0.074 mm占比为80%。

表1 原料化学成分、烧损及粒度(质量分数)

原料种类	化学成分											烧损	<0.074 mm 占比
	TFe	FeO	CaO	$\text{SiO}_2$	MgO	F	S	P	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$		
细磨超特粉	55.99	0.54	0.205	5.91	0.07	0.050	0.035	0.081	0.018	0.039	3.30	9.25	80.0
区内精矿	64.79	27.3	0.955	5.24	0.79	0.078	0.224	0.050	0.086	0.077	0.690	1.02	79.0
巴润精矿	65.20	28.5	1.86	1.50	1.16	0.390	0.655	0.050	0.140	0.129	0.145	1.74	96.0

### 2.2 试验原料的颗粒形貌及矿相结构

(1)区内精矿。该铁精矿主要由磁铁矿、少量精矿微粒团聚颗粒和少量脉石矿物组成,部分磁铁矿局部被赤铁矿交代,偶尔可见黄铁矿、黄铜矿。磁铁矿呈带棱角的各种形状。精矿颗粒最大粒径可达200  $\mu\text{m}$ ,以100  $\mu\text{m}$ 左右居多,20  $\mu\text{m}$ 以下常见,如图1、图2所示。

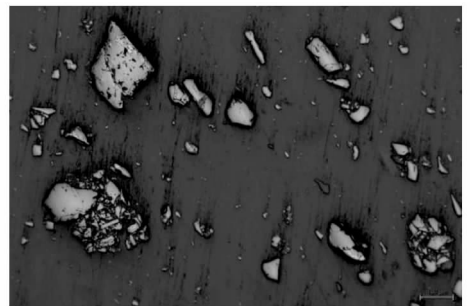


图1 磁铁矿及团聚颗粒的形貌

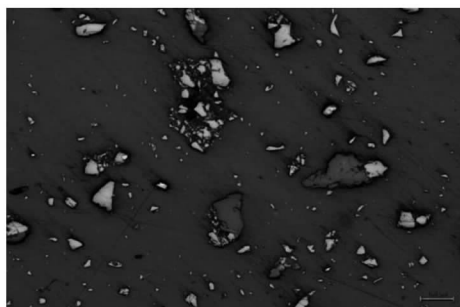


图2 磁铁矿及脉石(灰色颗粒)的形貌

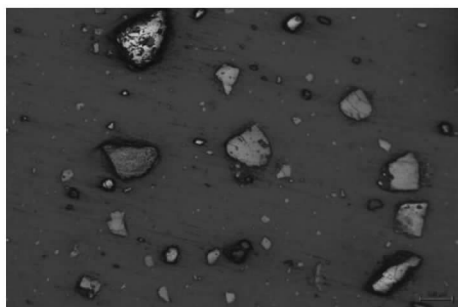


图5 褐铁矿、赤铁矿的形貌

(2)巴润精矿。该铁精矿主要由磁铁矿、精矿微粒团聚颗粒和少量脉石矿物组成,偶尔可见赤铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿。磁铁矿多呈次棱角的粒状;微粒部分呈各种形状,其中长条状略多。精矿颗粒最大粒径可达 $100\ \mu\text{m}$ , $50\ \mu\text{m}$ 以下居多。如图3、图4所示。

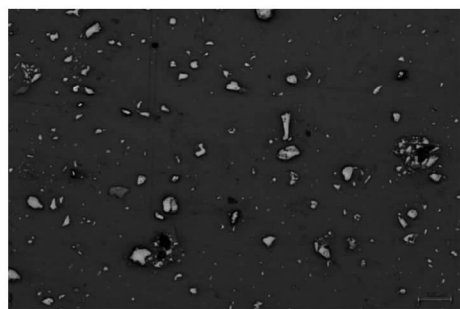


图3 磁铁矿的形貌

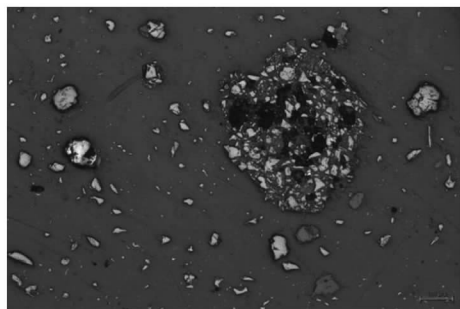


图4 团聚颗粒及磁黄铁矿(黄色)

(3)超特粉。该矿粉主要由褐铁矿、少量赤铁矿和少量矿粉微粒团聚颗粒和少量脉石矿物组成,褐铁矿和赤铁矿常连生出现。褐铁矿多呈次棱角的粒状和不规则状。矿粉颗粒最大粒径可达 $200\ \mu\text{m}$ ,以 $100\ \mu\text{m}$ 左右居多, $40\ \mu\text{m}$ 以下常见。如图5、图6所示。

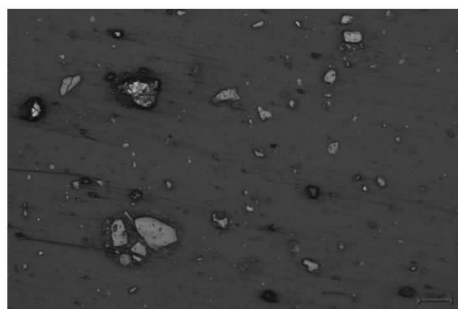


图6 可见团聚颗粒(左下)

### 2.3 细磨超特粉的成球性能

试验采用的细磨超特粉配比分别为5%、10%和20%,试验铁料配置方案见表2。

表2 细磨超特粉的成球性能(质量分数) %

区内精矿	铁料配置		膨润土 配比
	巴润精矿	细磨超特粉	
70	30	0	1.0
65	30	5	1.0
60	30	10	1.0
50	30	20	1.0

成球性能的好坏是以小于 $2\ \text{mm}$  粒级占比的多少来表示,小于 $2\ \text{mm}$  粒级占比越低,其成球性能越好。细磨超特粉对比对造球混合料成球性能的影响,如表3所示。由表3可知,随着细磨超特粉配比提高,球团的成球性能得到大大改善,当细磨超特粉配比为5%时,其成球性能较基准点提高8.8个百分点;当细磨超特粉配比为10%时,其成球性能较基准点提高10.2个百分点;当细磨超特粉配比为20%时,其成球性能较基准点提高13.8个百分点。

表3 细磨超特粉对比对造球混合料成球性能的影响

造球混合料中 细磨超特粉配比/%	生球粒度组成(质量分数)/%					
	>10 mm	10~8 mm	8~6 mm	6~4 mm	4~2 mm	<2 mm
0	0	0.8	2.4	1.5	13.2	82.1
5	0.1	1.3	3.6	2.9	18.8	73.3
10	0.4	2.3	5.2	3.3	16.9	71.9
20	1.3	3.1	8.2	2.1	17.0	68.3

### 3 试验方案设计

试验方案的设计主要考虑了细磨超特粉替代区内精矿对生球性能、干球性能、预热球性能及成品球性能的影响,提出包钢球团适宜的细磨超特粉配比及工艺制度,同时基于细磨超特粉低硫的特点,摸索巴润精矿在链篦机-回转窑-环冷机球团生产工艺中的最大配比。具体试验方案如表4所示。

表4 试验方案设计(质量分数) %

试验 编号	精矿种类及配比			膨润土 配比	混合料 S 含量
	细磨超特粉	区内精矿	巴润精矿		
基准	0	70	30	2.0	0.35
1 <sup>#</sup>	20	50	30	1.0	0.32
2 <sup>#</sup>	15	55	30	1.0	0.32
3 <sup>#</sup>	10	60	30	1.2	0.33
4 <sup>#</sup>	5	65	30	1.5	0.34
5 <sup>#</sup>	20	40	40	1.0	0.36
6 <sup>#</sup>	20	30	50	1.0	0.40
7 <sup>#</sup>	20	20	60	1.0	0.44
8 <sup>#</sup>	10	40	50	1.2	0.42
9 <sup>#</sup>	10	30	60	1.2	0.46

## 4 试验结果及分析

### 4.1 生球性能

生球性能试验数据见表5。

表5 生球性能试验数据

试验编号	水分/%	落下强度/次	生球抗压强度/N
基准	7.0	5.30	14.3
1 <sup>#</sup>	7.3	5.95	11.7
2 <sup>#</sup>	7.4	5.50	16.0
3 <sup>#</sup>	7.2	5.30	14.1
4 <sup>#</sup>	7.2	5.45	13.7
5 <sup>#</sup>	7.2	5.05	13.4
6 <sup>#</sup>	7.3	5.80	14.8
7 <sup>#</sup>	7.2	5.15	15.0
8 <sup>#</sup>	7.0	5.30	13.3
9 <sup>#</sup>	7.1	5.35	15.2

由表5可知:

(1)与配加区内精矿相比,配加细磨超特粉在保证生球落下强度达到5.5次的前提下(链-回-环工艺需求),有明显的降低膨润土配比效果,当细磨超特粉配比为10%,膨润土配比可降低到1.2%,与基准相比,膨润土消耗可降低40%;当细磨超特粉配比为20%,膨润土配比可降低到1.0%,与基准相比,膨润土消耗可降低50%。

(2)配加5%~20%细磨超特粉、膨润土配比为1.0%~1.5%制备的酸性球团生球抗压强度均达到10 N以上,可以满足链篦机-回转窑-环冷机工艺对生球抗压强度的要求。

### 4.2 干球性能

对各试验方案的干球性能进行了测定,试验结果见表6。

表6 干球性能试验数据

试验编号	干球抗压强度/N	动态爆裂温度/℃
基准	58.8	700
1 <sup>#</sup>	47.5	600
2 <sup>#</sup>	53.8	630
3 <sup>#</sup>	41.4	660
4 <sup>#</sup>	36.1	660
5 <sup>#</sup>	49.2	610
6 <sup>#</sup>	51.1	610
7 <sup>#</sup>	45.8	550
8 <sup>#</sup>	45.4	620
9 <sup>#</sup>	42.5	570

由表6可知:

(1)配加不同比例细磨超特粉并降低膨润土配比后干球抗压强度均不同程度降低,但可以承受来自料层的压力和抽风压力,可满足链篦机-回转窑-环冷机工艺干燥需求。

(2)动态条件下,配加不同比例细磨超特粉并降低膨润土配比后生球爆裂温度均达到550℃以上,虽较基准点降低,但可满足链篦机-回转窑-环冷机工艺干燥需求。

### 4.3 预热球性能及预热制度

对各个试验方案的预热球性能进行了测定,实

实验室预热球性能测定的工艺参数是依据链篦机-回转窑-环冷机球团工艺 7 000 t/d 组产条件下链篦机主要工艺参数进行设定,具体见表 7,各试验方案的预热球性能测定结果见表 8。

表 7 实验室预热球性能测定的工艺参数

预热一段 温度/℃	预热一段 时间/min	预热二段 温度/℃	预热二段 时间/min
650	4.23	1 000	5.45

由表 7 可知,链篦机-回转窑-环冷机工艺在 7 000 t/d 组产生产酸性球团条件下,机速为 3.3 m/min,预热一段烟罩温度为 650 ℃,预热时间为 4.23 min,预热二段为 1 000 ℃,预热时间为 5.45 min。

表 8 预热球性能试验数据

试验编号	预热球抗压 强度/N	预热球转鼓 强度/%	预热球抗磨 指数/%
基准	823.4	95.5	4.3
1#	725.8	89.2	10.1
2#	816.1	92.9	6.7
3#	952.4	90.8	8.6
4#	952.4	92.7	5.9
5#	705.8	83.5	14.3
6#	778.8	84.5	13.7
7#	786.0	77.4	21.1
8#	861.8	91.0	7.2
9#	979.7	93.5	6.3

由表 8 可知:

(1)在相同预热制度条件下,链篦机-回转窑-环冷机工艺配加 20% 细磨超特粉,预热球抗压强度、转鼓强度及抗磨指数均大幅下降,而将细磨超

特粉配比控制在 15% 以内,预热球抗压强度、转鼓强度及抗磨指数劣化不明显,可以满足链篦机-回转窑-环冷机工艺需求。

(2)针对细磨超特粉结晶水高的特性,为减少其对球团预热性能的劣化影响,链篦机-回转窑-环冷机工艺配加细磨超特粉生产酸性球团矿,需要增加回转窑内的喷煤量,系统提高预热段的温度,增加预热段热量供给,以保证细磨超特粉中的结晶水充分分解的热量需求,进一步保障预热球性能。

#### 4.4 焙烧制度

对各试验方案的焙烧制度进行了研究,试验结果见表 9。

表 9 焙烧性能试验数据

试验编号	抗压强度/N		
	1 220 ℃	1 240 ℃	1 260 ℃
基准	2 990	3 664	4 002
1#	2 984	2 704	3 424
2#	3 398	3 415	3 634
3#	3 150	3 552	3 747
4#	3 157	3 426	3 625
5#	3 103	3 187	3 159
6#	3 255	3 420	3 074
7#	2 915	3 176	2 930
8#	2 910	3 259	3 365
9#	3 131	3 284	3 600

由表 9 可知,在焙烧温度为 1 220 ~ 1 240 ℃ 的条件下,配加不同比例细磨超特粉制备球团矿的抗压强度均可达到 2 500 N 以上,说明配加比例为 20% 以内的细磨超特粉对球团的焙烧制度影响较小。

#### 4.5 球团矿化学成分

对各试验方案球团矿的化学成分进行了分析,结果见表 10。

表 10 各方案球团矿化学成分(质量分数)

试验编号	TFe	FeO	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	S	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
基准	63.64	1.35	1.54	4.34	1.09	0.70	0.101	0.002	0.107	0.084
1#	63.54	1.17	1.48	4.60	1.00	1.18	0.090	0.003	0.108	0.081
2#	63.50	0.50	1.52	4.52	1.03	1.16	0.094	0.002	0.131	0.101
3#	63.39	0.50	1.59	4.47	0.93	0.91	0.077	0.003	0.101	0.069
4#	63.52	0.50	1.44	4.40	0.95	0.78	0.074	0.003	0.100	0.065
5#	63.11	0.50	1.58	4.16	0.97	1.08	0.100	0.005	0.099	0.094
6#	63.64	0.50	1.44	3.80	0.94	1.05	0.120	0.004	0.091	0.093
7#	63.67	0.50	1.42	3.44	0.93	1.04	0.134	0.003	0.092	0.094
8#	63.61	0.50	1.46	3.68	0.99	0.85	0.140	0.007	0.107	0.112
9#	63.96	1.17	1.45	3.31	1.03	0.73	0.148	0.007	0.107	0.108

由表 10 可知:

(1)在巴润精矿配比一定的前提下,随着细磨超特粉比例的提高,区内精矿配比及膨润土配比的降低,铁品位呈小幅降低趋势, $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量呈提高趋势。

(2)在细磨超特粉配比一定的前提下,随着巴润精矿配比提高,区内精矿配比降低,铁品位呈提高趋势, $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量呈降低趋势。

(3)兼顾球团矿品位及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量,建议的配料方案为 10% 细磨超特粉 + 50% ~ 60% 巴润精矿 + 30% ~ 40% 区内精矿。

#### 4.6 冶金性能

对各试验方案球团矿的冶金性能进行了分析,试验结果见表 11。

表 11 各方案球团矿的冶金性能

试验编号	还原膨胀率/%
基准	11.3
1 <sup>#</sup>	14.4
2 <sup>#</sup>	13.1
3 <sup>#</sup>	16.0
4 <sup>#</sup>	13.5
5 <sup>#</sup>	14.4
6 <sup>#</sup>	13.5
7 <sup>#</sup>	15.7
8 <sup>#</sup>	17.6
9 <sup>#</sup>	17.9

由表 11 可知:

(1)当前影响包钢球团还原膨胀率的关键因素为球团矿碱度,因巴润精矿自然碱度高,在球团工艺中随着其配比的提高,球团矿碱度明显上升,球团矿还原膨胀率会升高,而细磨超特粉自然碱度低,配加细磨超特粉替代区内精矿有利于降低球团矿碱度,球团矿还原膨胀率会降低,可见就球团矿还原膨胀率指标而言,细磨超特粉与巴润精矿有很好的互补性。

(2)在细磨超特粉配比为 10%、膨润土配比为 1.2% 的原料条件下,巴润精矿最大配比可达 60%,球团矿还原膨胀率可控制在 20% 以内;在细磨超特粉配比为 20%、膨润土配比为 1.0% 的原料条件下,巴润精矿最大配比可达 60%,球团矿还原膨胀率可控制在 20% 以内。

## 5 结论

(1)链篦机-回转窑-环冷机工艺球团配加细

磨超特粉有明显的降低膨润土配比的作用,当细磨超特粉配比为 10% 时,可使膨润土配比由 2.0% 降低到 1.2%,降低幅度大,达到 40%,进一步增加细磨超特粉配比,膨润土配比降低幅度减少。

(2)配加不同比例细磨超特粉并降低膨润土配比,干球抗压强度均不同程度降低,生球爆裂温度降低,但均达到 550 °C 以上,可满足链篦机-回转窑-环冷机工艺干燥需求。

(3)针对细磨超特粉结晶水高的特性,为减少其对球团预热性能的劣化影响,链篦机-回转窑-环冷机工艺配加细磨超特粉生产酸性球团矿,需要增加回转窑内的喷煤量,系统提高预热段的温度,增加预热段热量供给,以保证细磨超特粉中的结晶水充分分解的热量需求,进一步保障预热球性能,同时建议将细磨超特粉配比控制在 10% 以内。

(4)在焙烧温度为 1 220 ~ 1 240 °C 的条件下,配加不同比例细磨超特粉制备球团矿的抗压强度均可达到 2 500 N 以上,说明配加比例为 20% 以内的细磨超特粉对球团的焙烧制度影响较小。

(5)兼顾球团矿品位及  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量,建议的配料方案为 10% 细磨超特粉 + 50% ~ 60% 巴润精矿 + 30% ~ 40% 区内精矿,同时球团矿还原膨胀率可控制在 20% 以内。

## 参 考 文 献

- [1] 田仕友. 低品质含铁原料制备氧化球团试验研究[J]. 矿业工程, 2022, 20(5): 46-50, 60.
- [2] 张辉, 李志斌, 刘沛江, 等. 鞍钢带式机球团生产中优化配矿的研究与应用[J]. 矿冶工程, 2021, 41(3): 103-106, 109.
- [3] 乔波, 罗果萍, 柴轶凡, 等. 不同精矿制备球团矿预热焙烧性能对比分析[J]. 烧结球团, 2021, 46(2): 50-56.
- [4] 张国成, 罗果萍, 邬虎林, 等. 配加蒙古精矿对球团矿性能的影响[J]. 中国冶金, 2019, 29(11): 24-30.
- [5] 马丽, 青格勒, 田筠清, 等. 球团配加细磨麦克粉的试验研究[J]. 烧结球团, 2019, 44(2): 39-41, 49.
- [6] 高晓永. 褐铁矿在包钢烧结中的应用技术研究[D]. 包头: 内蒙古科技大学, 2022.