

秘鲁原矿资源在 首钢京唐烧结生产中的应用研究

杨 珊^{1,2,3},程峥明^{1,2},裴元东³,安 钢¹

(1. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司,河北 曹妃甸 064000;2. 北京科技大学,北京 100083;3. 首钢技术研究院,北京 100041)

摘要:首钢京唐公司炼铁作业部在控制铁水成本的压力下,结合自身生产工艺特点,充分利用秘鲁矿资源的价格优势,在烧结配加经过加工的秘鲁原矿。京唐炼铁部对加工过的秘鲁原矿进行了基础特性研究和相关烧结杯实验,通过工业生产应用实践,结合烧结矿质量变化情况及对高炉的影响,摸索出适宜的配价比例。

关键词:秘鲁原矿;特性;烧结杯实验;应用;效益

中图分类号:TF046.4

文献标识码:A

文章编号:1006-5008(2014)07-0010-06

doi:10.13630/j.cnki.13-1172.2014.00703

RESEARCH ABOUT APPLICATION OF PERU IRON ORE IN SINTERING PRODUCTION IN JINGTANG

Yang Shan^{1,2,3}, Cheng Zhengming^{1,2}, Pei Yuandong³, An Gang¹

(1. Jingtang Iron and Steel Union Company Limited, Capital Iron and Steel Company, Caofeidian, Hebei, 064000; 2. Beijing University of Science and Technology, Beijing, 100083; 3. Technology Research Institute, Capital Iron and Steel Company, Beijing, 100041)

Abstract: Based on the our original production process characteristics and the price superiority of Peru iron ore resource, the processed Peru raw ore is added in our sintering to control the cost of hot metal. The processed Peru ore is researched in its basic characteristic and tested in relative sintering pot experiment. Through industrial production practice, the suitable proportioning rate for the ore is worked out according to the sinter quality change and its influence on blast furnace.

Key Words: Peru iron ore; characteristics; sintering pot test; application; profit

0 引言

2013 年 2 月份,首钢京唐钢铁联合有限责任公司(以下简称首钢京唐公司)炼铁作业部为降低铁水成本,在优化配矿的基础上合理利用资源,将首钢集团秘鲁铁矿加工生产成的秘鲁原矿加工粉(以下简称秘鲁原矿)用于烧结生产配料。

首钢京唐公司炼铁作业部从资源和成本的角度出发,考虑到秘鲁原矿属于磁铁矿,具有可选性好、价格低廉的优势(比其它类矿粉价格低 200~400 元/t),用来替代部分性价比低的矿粉,可获得较大

的经济效益。但该矿粉碱金属、锌等有害元素含量偏高,在烧结和高炉中富集会造成本条粘结、炉内富集、炉衬侵蚀等问题。

本文将秘鲁原矿与首钢京唐公司烧结工艺常用的澳洲矿、非主流矿等进行化学成分和粒度分析,高温特性研究,并根据各种铁矿粉高温特性的差异进行优化配矿设计^[1]。在此基础上,通过烧结杯实验对配矿效果进行验证,最后通过工业生产应用实践,进行合理的结构搭配,将其对烧结、高炉生产的不利影响降到最低,并获取最大的经济效益。

1 秘鲁原矿基础特性研究

1.1 秘鲁原矿的化学成分及粒度分析

秘鲁原矿及首钢京唐公司烧结使用的矿粉的主要化学成分和粒度组成分别见表 1、表 2。

收稿日期:2014-05-14

作者简介:杨珊(1985-),女,助理工程师,2008 年毕业于内蒙古科技大学冶金工程专业,现在首钢京唐钢铁联合有限责任公司从事统计工作,E-mail:yshappy1985@126.com

表 1 秘鲁原矿与各矿粉的化学成分
Tab. 1 Chemical composition of Peru raw ore and different ore powders

成分	TFe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	S	ZnO	烧损
A 粉	58.07	4.42	0.028	0.003	1.37	0.14	0.010	0.098	0.005	10.82
B 粉	63.31	3.39	0.041	0.006	1.68	0.021	0.009	0.016	0.005	3.54
秘鲁原矿	56.68	9.42	2.17	2.98	1.42	0.43	0.19	3.20	0.17	-0.50
秘鲁粗粉	66.80	3.46	0.90	1.14	0.49	0.096	0.12	0.45	0.020	-2.17
C 粉	63.45	8.16	0.27	0.41	1.20	-	-	-	-	0.94

从单品种矿粉成分上分析,秘鲁原矿的品位较低,硫含量较高, SiO₂ 含量与 C 粉相近,可考虑与高硅单品种矿进行替代。

表 2 秘鲁原矿与各矿粉的粒度组成
Tab. 2 Particle size composition of Peru raw ore and different ore powders

品种	>10 mm	10~8 mm	8~5 mm	5~3 mm	3~2 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.125 mm	0.125~0.063 mm	<0.063 mm	平均粒度
A 粉	13.04	6.24	12.39	14.34	8.6	18.98	17.49	5.91	1.48	1.39	0.15	3.25
B 粉	1.44	3.42	13.49	14.56	8.12	13.3	9.76	13.31	12.42	8.43	1.77	2.40
秘鲁粗粉	0.29	3.59	10.93	12.94	5.86	8.61	9.68	10.87	13.02	17.17	7.05	2.00
秘鲁原矿	0.13	5.14	13.94	13.1	8.27	13.79	9.47	10.1	8.75	12.13	5.18	2.45
C 粉	0.1	0.42	8.45	12.01	9.75	11.16	15.78	14.07	15.01	10.19	4.11	1.69

注:除平均粒度单位为“mm”外,其他各项单位均为“%”。

经过破碎的原矿粒度较毛粉粗,较 B 粉和 A 粉细;从粒度上分析认为秘鲁原矿与 B 粉的互相替代性强,而代替 A 粉后,混合矿粉透气性可能变差,代替 C 粉后,混合矿粉原始透气性可能变好。

1.2 秘鲁原矿矿粉的 X 衍射物相分析

对秘鲁系列矿粉如秘鲁原矿、秘鲁粗粉、秘鲁细粉进行 X 衍射物相分析,结果见表 3。

表 3 不同秘鲁资源
系列矿粉的 X 衍射物相分析结果
Tab. 3 X - diffraction phase
analysis different series of Peru ore powders

项目	组分	秘鲁原矿	秘鲁粗粉	秘鲁细粉
Magnetite	Fe ₃ O ₄	70.7	87.3	92.2
Hematite	Fe ₂ O ₃	19.7	9.5	7.8
Quartz alpha	SiO ₂	3.6	-	-
Silicon	Si	6.0	3.1	-

由表 3 可以看出,秘鲁原矿资源由于未经过磁选,与其它秘鲁粉相比,秘鲁原矿的磁铁矿(Fe₃O₄)含量相对较低,赤铁矿(Fe₂O₃)含量相对较高。并且,秘鲁原矿中不仅 SiO₂ 含量相对较高,且其 SiO₂ 较多呈现出单体存在的形势,故秘鲁原矿的反应性可能相对较弱。

1.3 秘鲁原矿矿粉的高温特性

各种矿粉的高温特性实验结果见表 4。

表 4 各矿粉的烧结基础特性测试结果

Tab. 4 Measuring results of basic
sintering characteristics of different ore powders

矿粉品种	同化性	液相流动性		
	最低同 化温度/℃	1 240, R = 4	1 280, R = 4	1 320, R = 4
秘鲁原矿	1 280	5.785	3.978	4.246
秘鲁粗粉	1 230	-0.015	0.15	-0.14
秘鲁球团粉	1 210	0.08	0.145	-0.05
B 粉	1 205	-	1.286	-
A 粉	1 136	2.347	3.127	3.823
C 粉	>1 360	3.61	5.24	5.38

铁矿粉的同化性是表征其在烧结过程中生成液相的难易程度,是烧结矿有效固结的基础^[2]。液相流动性的评价指标为液相流动性指数。流动性指数=(试样流动后的面积-试样原始的面积)/试样原始的面积^[3]。

从各种矿粉的烧结基础特性看,若将秘鲁原矿替代 B 粉和 A 粉,则同化性降低,但流动性提高;替 C 粉后,则同化性升高,但流动性略有降低。

秘鲁原矿的最低同化温度高于其它秘鲁矿粉资源,说明其同化性低于其它秘鲁矿粉。这可能与秘鲁原矿中的 SiO₂ 主要以单体硅形式存在有关。而由于秘鲁原矿的 SiO₂ 高,等碱度下所配加的 CaO

多,则较其他秘鲁矿粉呈现出很高的液相流动性。

2 烧结杯实验研究

本次烧结杯实验的方案是对秘鲁原矿进行配比

累加,根据京唐公司实际用料情况,分别替代同等比例 B 粉、A 粉、C 粉,实验方案详见表 5。

表 5 秘鲁原矿的烧结杯实验方案
Tab. 5 Plan for sintering pot test of Peru raw ore

方案	秘鲁原矿	D 粉	E 粉	B	A 粉	C 粉	G 粉	F 粉	钢渣	铁皮	石灰石	白云石
基准	0	8	19.7	26.5	20.8	6	1.5	6	3.5	1.5	4.5	2
方案 1	5	8	19.7	21.5	20.8	6	1.5	6	3.5	1.5	4.5	2
方案 2	10	8	19.7	21.5	15.8	6	1.5	6	3.5	1.5	4.5	2
方案 3	15	8	19.7	21.5	15.8	1	1.5	6	3.5	1.5	4.5	2

通过 3 个方案和基准比较,得到实验的主要技术指标,见表 6。

表 6 烧结杯实验主要技术指标
Tab. 6 Main technical indexes of sintering pot test

方案	水分/%	成品率/%	垂直烧结速度 /(mm/min)	利用系数 /[t/(h·m ²)]
基准	6	71.35	24.36	2.01
方案 1	6.2	71.62	24.06	2.05
方案 2	6.8	72.47	23.59	2.02
方案 3	6.4	73.24	24.26	2.09

在控制烧结负压与混合料含碳量不变条件下,随着秘鲁原矿配比提高,烧结废气温度逐渐升高,如图 1 所示。主要是秘鲁原矿作为磁铁矿在烧结过程中放热;另一方面其更容易生成熔点低、流动性好的液相。因此认为在实际生产中使用秘鲁原矿替代 B 粉、A 粉或 C 粉,负压有可能降低。

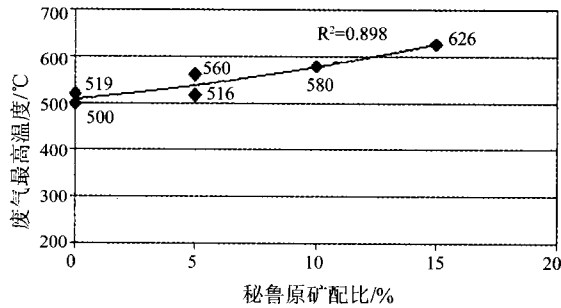


图 1 秘鲁原矿比对烧结废气最高温度影响

Fig. 1 Influence of proportioning of Peru raw ore on the highest temperature of waste air in sintering

当秘鲁原矿依次替代 B 粉和 A 粉后,混合料整体的粒度变细,透气性变差,垂直烧结速度略降;而继续替代 C 粉,混合料粒度提高,透气性有所改善,垂直烧结速度提高,如图 2 所示。

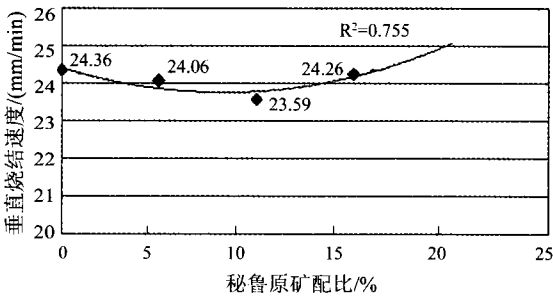


图 2 秘鲁原矿比对垂直烧结速度影响
Fig. 2 Influence of proportioning of Peru raw ore on the vertical sintering speed

配加秘鲁矿后,烧结矿成品率逐步升高,如图 3 所示。依次替代 B 粉、A 粉后,垂直烧结速度略降,高温保持时间增加,有利于提高成品率;替代 C 粉后,垂直烧结速度、转鼓、成品率均提高,说明秘鲁原矿烧结性能较 C 粉好。

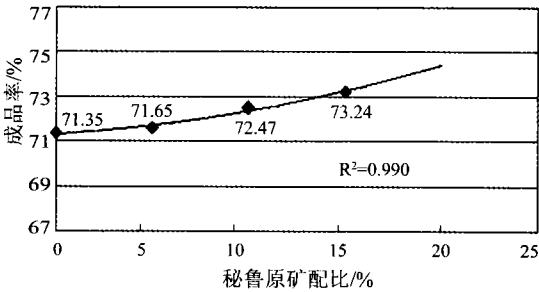


图 3 秘鲁原矿比对成品率的影响
Fig. 3 Influence of proportioning of Peru raw ore on finished products rate

配加秘鲁矿后,烧结利用系数呈升高趋势,垂直烧结速度均有所降低,但成品率明显提高,故综合作用促使烧结利用系数提高,如图 4 所示。秘鲁原矿替代 B 粉和 C 粉后,利用系数提高明显,但替代 A 粉后,提高不明显。

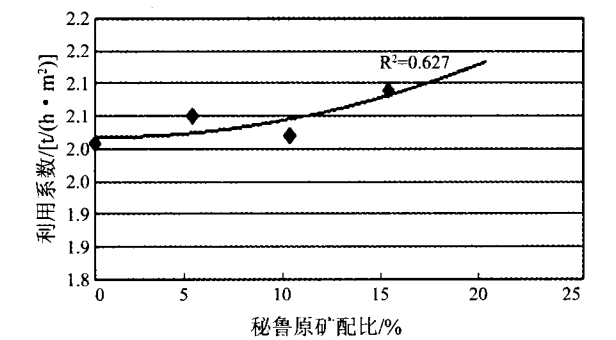


图 4 秘鲁原矿配比对利用系数的影响

Fig. 4 Influence of proportioning of Peru raw ore on utilization coefficient

烧结杯实验的烧结矿粒度组成和转鼓强度详见表 7。

表 7 烧结杯实验后烧结矿粒度组成 %				
Tab. 7 Particle size composition of sinter after sintering pot test %				
方案	≥40 mm	40 ~ 25 mm	25 ~ 16 mm	16 ~ 10 mm
基准	15.94	27.95	15.67	11.95
方案 1	11.41	31.97	14.9	12.79
方案 2	13.22	31.73	13.25	13.84
方案 3	12.08	41.84	11.36	10.77

方案	10 ~ 5 mm	5 ~ 0 mm	平均粒径 mm	< 10 mm
基准	13.65	14.84	23.21	28.49
方案 1	13.8	15.12	22.23	28.92
方案 2	13.28	14.68	22.8	27.96
方案 3	10.77	13.17	24.51	23.94

秘鲁原矿替代 B 粉对烧结矿转鼓影响不大;秘

鲁原矿替代 A 粉后,垂直烧结速度降低但转鼓指数同时也降低,可能是秘鲁原矿的同化性较 A 粉低造成的;秘鲁原矿替 C 粉后,垂直烧结速度提高,但转鼓提升明显,说明秘鲁原矿的基础性能较 C 粉好,如图 5 所示。

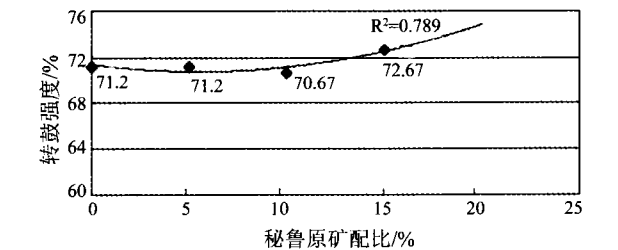


图 5 秘鲁原矿配比对转鼓强度的影响

Fig. 5 Influence of proportioning of Peru raw ore on drum strength

配加秘鲁矿替代 B 粉后,变化不明显,但继续替代 A 粉和 C 粉后,粒度组成改善明显,尤其替代 C 粉后,显著改善烧结矿粒度组成,如图 6 所示。

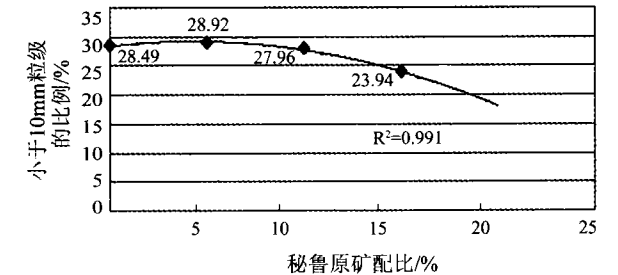


图 6 秘鲁原矿配比对 0 ~ 10 mm 粒级的影响

Fig. 6 Influence of proportioning of Peru raw ore on 0 ~ 10mm class

烧结杯实验的烧结矿主要化学成分见表 8。

表 8 烧结杯实验后烧结矿化学成分 %										
Tab. 8 Chemical composition of sinter after sintering pot test %										
化学成分	TFe	CaO	MgO	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	ZnO	S
基准	56.26	10.99	1.69	7.73	5.4	1.74	0.10	0.09	0.01	0.041
方案 1	55.82	11.41	1.77	7.98	5.53	1.72	0.13	0.17	0.03	0.046
方案 2	55.55	11.49	1.93	7.51	5.48	1.66	0.12	0.14	0.01	0.045
方案 3	55.86	11.51	1.87	7.83	5.54	1.75	0.12	0.19	0.03	0.053

受秘鲁原矿成分的影响,配加秘鲁原矿之后烧结矿的品位下降约 0.5%,MgO 含量增加约 0.2% (可用白云石等熔剂配比调节),烧结矿中 K₂O、Na₂O、ZnO、S 等有害元素含量有不同程度升高。

总体来看,秘鲁原矿烧结高温性能比 C 粉好,替代 B 粉、A 粉和 C 粉均可改善烧结矿的物理性能,但考虑到烧结矿品位下降,K₂O、Na₂O、ZnO、S、

MgO 含量增加对高炉的影响,及烧结碱金属富集对烧结过程的影响,秘鲁原矿的配比不宜超过 5%。

3 工业生产应用实践

3.1 烧结配加秘鲁原矿的应用情况

2013 年 2 月,首钢京唐公司炼铁作业部开始在烧结配加 2% 秘鲁原矿,3 月份、4 月份配加比例分别为 4%、5%,6 月份配加 3% 的秘鲁原矿,见表 9。

表 9 烧结工业应用实践中的配矿方案

Tab. 9 Ore proportioning plan in industrial application practice

%

月份	秘鲁原矿	B 粉	A 粉	C 粉	返矿	固废	其他	月份	秘鲁原矿	B 粉	A 粉	C 粉	返矿	固废	其他
1 月	0	22	18	5	18	4	33	4 月	5	19	9	1	16	4	46
3 月	4	20	13	2	17	4	40	6 月	3	19	15	0	17	4	42

工业生产应用期间烧结矿物理性能和部分化学成分分别见表 10、表 11。

表 10 工业应用期间烧结矿强度、粒度等指标

Tab. 10 Indexes of strength, particle size and etc. of sinter in industrial application

时间	转鼓/%	利用系数 /[t/(h·m ²)]	粒度组成/%						平均粒径/mm
			≥40 mm	40 ~ 25 mm	25 ~ 16 mm	16 ~ 10 mm	10 ~ 5 mm	< 5 mm	
1 月	83.51	1.052	7	22.22	27.82	22.61	17.78	2.48	18.04
3 月	83.59	1.141	8.07	21.33	27.55	23.73	16.88	2.44	18.82
4 月	83.41	1.114	6.6	21.75	28.83	23.66	16.07	2.48	18.56
6 月	83.43	1.154	7.22	22.3	29.05	22.24	16.81	2.32	19.71

表 11 工业生产应用期间烧结矿化学成分变化情况

Tab. 11 Change state of chemical composition of sinter in industrial application

%

	TFe	FeO	S	K ₂ O	Na ₂ O	ZnO
1 月	56.21	8.31	0.029	0.078	0.047	0.016
3 月	55.27	8.4	0.037	0.100	0.051	0.020
4 月	55.70	8.43	0.041	0.100	0.110	0.029
6 月	56.11	8.47	0.027	0.110	0.059	0.024

工业生产应用期间,烧结矿转鼓略有降低,主要是秘鲁原矿的液相流动性比 C 粉略低,利用系数提高所导致,其它质量指标均有所改善,与烧结杯实验结果相符。随着秘鲁原矿比例增加,烧结矿品位下降,有害元素含量增加。

工业生产应用期间,烧结矿的还原度和低温还原粉化测定结果见表 12。

随着秘鲁原矿配比的调整,低温还原粉化指数 RDI_{+3.15}与还原度 RI 均有所改善,主要是由于秘鲁

原矿作为磁铁矿粉,有利于烧结过程中冶金性能的提高。

表 12 工业生产应用期间烧结矿还原度和低温还原粉化指数测试结果

Tab. 12 Measuring results of reduction degree and low – temperature reduction powdering index of sinter in industrial application

日期	低温还原粉化指数/%			还原度指数/%
	RDI _{+6.3}	RDI _{+3.15}	RDI _{-0.5}	RI
1 月	47.34	73.19	6.93	80.30
3 月	53.00	76.40	7.00	81.80
4 月	58.07	77.60	7.37	81.00
6 月	62.60	80.73	5.38	80.15

3.2 高炉生产主要指标变化情况

2013 年 2 月开始,高炉使用配加不同比例的秘鲁原矿资源的烧结矿,主要指标变化情况见表 13。

表 13 配加秘鲁原矿期间高炉主要指标变化情况

Tab. 13 Change situation of main indexes of blast furnace in the period to add Peru raw ore

日期	综合入炉品位/%	焦比/(kg/t)	煤比/(kg/t)	燃料比/(kg/t)	碱金属负荷/(kg/tHM)	锌负荷/(kg/tHM)
1 月	58.93	318	137	486	3.04	0.242
2 月	58.92	300	157	490	3.18	0.283
3 月	58.54	302	164	497	4.60	0.321
4 月	58.85	344	137	514	4.10	0.343
5 月	59.04	306	153	488	3.34	0.312
6 月	58.86	312	162	503	3.69	0.318

在使用期间,受 4 月份高炉年修及 6 月份热风管系问题影响,高炉焦比、燃料比等变化较大。因此,主要以 2013 年 1 月份作为参考,分别与 2、3、5

月份的指标进行对比分析。高炉碱金属负荷、锌负荷变化趋势如图 7 所示。

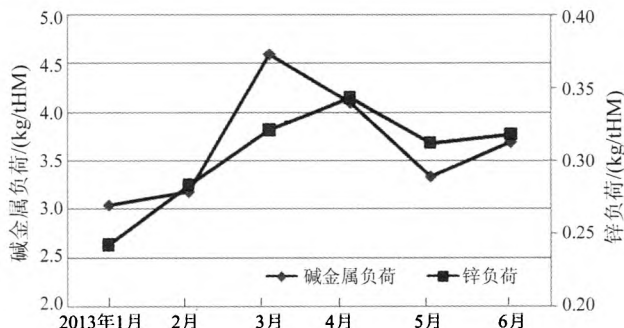


图 7 工业生产应用期间高炉碱金属负荷与锌负荷变化情况

Fig. 7 Change status of alkali metal load and zinc load of blast furnace in industrial application

相比 1 月份,2、3、5 月份高炉综合入炉品位下降 0.09%,燃料比升高 5.69 kg/t,高炉碱金属负荷、锌负荷上升较为明显。

2 月份配加秘鲁原矿后,烧结指标正常,配比迅速提高至 6.0%~6.5%,秘鲁系列资源总比例达到 16%。高炉碱负荷最高达到 4.6 kg/tHM,锌负荷达到 0.32~0.34 kg/tHM,高炉炉内压差由 190 kPa 上升至 198 kPa 水平,且风口有流锌的现象发生,顺行状态受到一定程度影响。

经过分析,在此期间高炉碱金属负荷和锌负荷的升高与配入烧结的秘鲁系列资源碱金属和锌含量过高有关。因此,4 月份将秘鲁原矿资源配比从 6.0%降到 3.5%水平,秘鲁资源总量控制到 8.0%。高炉碱负荷从 4.1 kg/tHM 降低到 3.3 kg/tHM,ZnO 负荷从 0.34 kg/tHM 降低到 0.31 kg/tHM,同时高炉增加排碱操作,压差关系逐步改善,炉况整体顺行向好并趋于稳定。

3.3 使用秘鲁原矿产生的综合效益

根据对秘鲁原矿和其它几种矿粉的分析研究,在对烧结矿质量影响较小和确保高炉炉况顺行稳定的前提下,控制秘鲁原矿配加比例在 3%,不断优化配矿结构,实现了稳定配加。

在此基础上,考虑秘鲁原矿在烧结配加带来的不利因素以及对高炉的影响,2013 年,首钢京唐公

司炼铁作业部通过充分利用秘鲁原矿资源,取得年效益 1 360 万元,为降低铁水成本做出显著贡献。

4 结语

(1) 秘鲁原矿从 SiO_2 含量和粒度方面分析,和 C 粉互替性强;与秘鲁球团粉在粒度、成分和高温特性有一定的互补性,做好合理结构的搭配,可保证烧结矿成分和性能的稳定。

(2) 配加秘鲁原矿工业生产应用期间,烧结矿强度、粒度和冶金性能等指标稳定,烧结品位有所降低,有害元素含量增加。

(3) 秘鲁原矿资源的配加,会对高炉碱金属负荷、锌负荷带来不同程度影响,高炉做好监测和分析,并定期排碱。

通过对秘鲁原矿的基础研究及工业实验研究,首钢京唐公司炼铁作业部实现了秘鲁资源的合理优化使用,在保证高炉顺稳的前提下,创造了显著的经济效益。

参考文献

- [1] 吴胜利,戴宇明,Dauter Oliveiral,等. 基于铁矿粉高温特性互补的烧结优化配矿[J]. 北京科技大学学报,2010,6(32):720~721.
- [2] 王颖生,吴胜利,等. 吉布森矿粉烧结实验研究[J]. 钢铁,2010,45(9):15~17.
- [3] 张建良,苏步新,等. 若干国内外铁矿粉的同化性实验研究[J]. 过程工程学报,2011,11(1):97~102.

(上接第 57 页)

4 结语

高炉铁口喷溅的治理,极大地改善了炉前作业状况。分段开口、二次打泥等新技术的应用,有效地保证了铁口状态的稳定。激励制度与耐材技术的不

断进步,保证主沟通铁量达 12 万 t 以上的先进水平。制度化、标准化的倒场有效减少了倒场对炉况的影响。