

包钢烧结矿调整 SiO₂ 含量生产实践

梁海全¹, 魏永强¹, 何晓义², 张永³, 刘曙光¹

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;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司制造部, 内蒙古包头 014010;
3. 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: 文章就包钢 500 m² 烧结机基于不同 SiO₂ 含量在烧结矿中的作用, 进行了烧结矿 SiO₂ 含量为 4.75%、4.85%、4.95%、5.15%、5.30% 的烧结生产, 结果表明: 烧结矿中 SiO₂ 含量小于 5.15% 时, 随着烧结矿 SiO₂ 含量逐步增加, 烧结矿转鼓强度提高; 在 SiO₂ 含量为 5.15% 左右时烧结矿转鼓强度达到最佳, 较 SiO₂ 含量为 4.75% 时提高了 3%, 平均粒径提高 1.77 mm; 当烧结矿 SiO₂ 含量从 5.15% 增加至 5.30% 以上时, 随着 SiO₂ 含量继续增加, 转鼓强度变化不大。综合不同 SiO₂ 含量的烧结矿显微结构分析, 随着 SiO₂ 含量的增加, 板柱状的铁酸钙增加, 当 SiO₂ 含量增加到 5.30% 左右, 部分区域硅酸二钙大面积富集。在包钢烧结高自产精矿比例条件下, 控制烧结矿 SiO₂ 含量为 5.15% 左右, 烧结矿转鼓强度可以达到 79.5% 以上, 平均粒径可以提高到 19 mm 以上。

关键词: 烧结矿; SiO₂ 含量; 转鼓强度; 铁酸钙; 自产精矿

中图分类号: TF046.4

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2023)01-0029-07

Production Practices of Adjusting SiO₂ Content for Sinter of Baotou Steel

Liang Hai-quan¹, Wei Yong-qiang¹, He Xiao-yi², Zhang Yong³, Liu Shu-guang¹

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

Abstract: In this paper, the sintering productions with such SiO₂ contents in sinter as 4.75%, 4.85%, 4.95%, 5.15% and 5.30% are carried out based on the effects of different SiO₂ contents on sinter with 500 m² sintering machine. The results showed that the drum strength of sinter was increased with gradual increase of SiO₂ content in sinter when SiO₂ content in sinter was less than 5.15%; the drum strength of sinter was optimum when SiO₂ content in sinter was about 5.15%, which was increased by 3% compared with that of 4.75% and average particle size was increased by 1.77 mm; the drum strength changed slightly with continuous increase of SiO₂ content when SiO₂ content in sinter was increased from 5.15% to above 5.30%. The analysis on the microstructure of sinter with different SiO₂ contents showed that the prismatic

收稿日期: 2022-09-23

作者简介: 梁海全(1972-), 男, 山西省山阴县人, 高级技师, 高级工程师, 现从事烧结专业技术工作。

tabular calcium ferrite was increased with the increase of SiO_2 content and the dicalcium silicate of partial region was with large area enrichment. With the high proportion of self-produced concentrate of Baotou Steel, the SiO_2 content is controlled at about 5.15%, drum strength of sinter can reach above 79.5% and average particle size can be improved above 19 mm.

Key words: sinter; SiO_2 content; drum strength; calcium ferrite; self-produced concentrate

目前国内多数高炉炉料结构以碱性烧结矿为主,搭配酸性球团矿和块矿,碱性烧结矿占到炉料结构的 75% ~ 80%,因此,烧结矿质量的好坏对高炉有着重要的影响,而烧结矿质量很大程度上又受化学成分的影响。随着高炉日益大型化,对原料的要求也越来越高,包钢 500 m² 烧结机的烧结矿物理化学性能,相对于其他大型钢铁企业主要表现为 SiO_2 含量、铁品位、转鼓强度、平均粒径偏低。Xiao Z X 等研究了不同 SiO_2 含量铁矿粉的液相流动性,研究表明提高 SiO_2 含量可以显著增加液相生成量、改善液相流动性。 SiO_2 含量降低,黏结相减少,从而导致成品矿强度降低和成品率下降^[1]。胡鹏等人研究了特殊钒钛烧结矿随着 SiO_2 含量、CaO 含量逐渐增加,烧结矿强度和成品率存在先升高后降低的现象^[2]。李和平等研究了在固定 CaO 含量条件下不同 SiO_2 含量对铁矿粉液相生成、液相流动性及固结强度的影响^[3]。有研究认为,碱度 2.0 时, SiO_2 含量由 4.8% 逐步增加至 5.7% 时,烧结矿微观结构的均匀性逐渐改善,主要黏结相由赤铁矿向铁酸钙发

展,铁酸钙比例逐渐增加,赤铁矿结构由片状向熔蚀状变化,铁酸钙结构由熔蚀状向针柱状发展,骸晶状菱形赤铁矿逐渐消失^[4]。

为改善包钢烧结矿质量指标,优化包钢 4 150 m³ 大高炉炉料性能,在包钢 500 m² 烧结机进行了烧结矿 SiO_2 含量为 4.75% ~ 5.30% 的生产研究,对不同 SiO_2 含量下的烧结矿质量指标的变化进行了总结与分析,提出了基于包钢高自产精矿比例(40% 左右)条件下,控制烧结矿碱度为 2.0 时,烧结矿适宜的 SiO_2 含量,对改善包钢烧结矿质量指标取得了明显效果,为包钢大高炉实现稳定高效生产奠定了原料基础。

1 原燃料理化性能

包钢 500 m² 烧结机使用的铁料有进口矿 A、自产铁精矿、进口矿 B、进口矿 C、进口矿 D、进口矿 E,熔剂包括白云石、石灰石、生石灰、蛇纹石;燃料为焦粉。原燃料化学成分见表 1 和表 2,进口铁矿粉粒度组成见表 3。

表 1 烧结用原料化学成分及烧损(质量分数)

原料名称	化学成分											I_g %
	TFe	FeO	CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	P	S	K_2O	Na_2O	F	
进口矿 A	61.44	<0.5	0.08	4.22	0.07	2.17	0.104	0.019			0.102	5.15
自产铁精矿	66.46	28.83	0.92	1.74	0.83	0.41	0.064	1.030	0.056	0.046	0.380	1.74
进口矿 B	58.15	<0.5	0.03	5.72	0.06	2.15	0.036	0.014	0.014	0.017	0.083	7.45
进口矿 C	60.32	11.32	0.69	10.33	0.83	1.14	0.064	0.024				1.15
进口矿 D	59.48		0.14	8.21	0.09		0.085	0.043				3.98
进口矿 E	57.13	2.02	0.08	5.48	1.13	3.07						8.21
白云石			37.37	0.64	25.47							
石灰石			51.05	2.84	1.86							
生石灰			82.67	3.63	4.07							
蛇纹石			1.80	42.18	43.05							

表 2 试验用焦粉工业分析(质量分数) %

固定碳	灰分	挥发分	硫分	水分
82.00	18.16	2.17	0.90	2.40

由表 1 可以看出:

(1) 自产铁精矿品位较高,达到了 66% 以上,FeO 含量较高,S、 K_2O 、 Na_2O 、F 含量较进口矿偏高,

属于典型的磁铁精矿。

(2)进口铁矿粉品位略低,其中进口矿 A 品位最高,进口矿 E 品位最低,铁品位只有 57.13%;进口矿 C 和进口矿 D 中 SiO₂ 含量偏高,达到 8% 以上, I_g 较低,属于赤铁矿;进口矿 B 和进口矿 E 的 I_g

较高,达到 7% 以上,属于褐铁矿,其中进口矿 E 中 Al₂O₃ 偏高,达到 3.07%,仅从化学成分分析,进口矿中烧结性能最优的为进口矿 A,最差的为进口矿 E。

表3 进口粉矿粒度组成(质量分数)

%

铁矿粉	>10 mm	7~10 mm	5~7 mm	3~5 mm	1~3 mm	0.5~1 mm	<0.5 mm
进口矿 A	2.83	10.44	15.63	16.10	14.97	8.52	31.51
进口矿 B	10.50	7.90	6.20	7.60	7.10	11.70	49.00
进口矿 C	22.10	9.90	9.70	12.40	18.90	9.50	17.50
进口矿 D	10.09	9.30	8.21	14.54	27.30	1.48	29.08
进口矿 E	11.50	12.06	11.97	15.33	25.43	10.31	13.40

由表3可以看出:

(1)五种进口铁矿粉中,除进口矿 A 外,其它四种铁矿粉 >10 mm 粒级较多,占比均在 10% 以上,其中进口矿 C >10 mm 粒级占到 22.10%。

(2)五种铁矿粉中,进口矿 B <1 mm 的粒级占比达到 60% 以上,表明该矿粒度较细,且粒度分布波动较大,>10 mm 粒级和 <1 mm 的占比 71% 以上。

(3)五种铁矿粉中,进口矿 E 粒度偏大,>1 mm 的粒级的占比为 76.29%。

(4)综上分析,五种铁矿粉中,进口矿 A 粒度较好,>10 mm 粒级仅为 2.83%, <1 mm 粒级为 40.03%,主要为 1~10 mm 粒级,占比为 57.14%,

并且每个粒级的含量相差不大,粒度比较均匀,有利于烧结混合料的制粒,改善料层的透气性,提高烧结矿的质量。

2 铁料结构配置

包钢 500 m² 烧结机生产用铁料结构为进口矿 A、自产铁精矿、进口矿 B(同类矿粉进口矿 E),搭配经济矿种进口矿 C、进口矿 D 使用,但在实际变硅生产的过程中,由于受铁料资源影响,采用进口矿 D 替代进口矿 C 开展试验。采用蛇纹石调整烧结矿 SiO₂ 含量。烧结矿调整 SiO₂ 含量生产实践过程中,具体的烧结用铁料结构见表 4。

表4 不同 SiO₂ 含量下烧结矿对应铁料方案(质量分数)

%

试验方案	进口矿 A	自产精矿	进口矿 B	进口矿 C	进口矿 D	进口矿 E
1 [#]	34	35	22	6	3	
2 [#]	37	38	16	6	3	
3 [#]	42	41	13	1	3	
4 [#]	43	37	14		5	1
5 [#]	38	40	14		5	3
6 [#]	32	40	15		5	8

方案说明:

(1)1[#]方案—3[#]方案中采用的铁料配置结构为主要矿种进口矿 A、自产铁精矿、进口矿 B 搭配少量的经济矿种进口矿 C 和进口矿 D。

(2)4[#]方案—6[#]方案,由于受铁料资源的影响,

在试验过程中取消了经济矿种进口矿 C 的配比,提高了进口矿 D 的配比,同时增加了进口矿 E 的配比。

3 生产结果及分析

3.1 烧结机工艺参数控制

包钢 500 m² 烧结机在调整 SiO₂ 含量生产期间,控制料层厚度在 760 ~ 780 mm,点火温度为 (1 100 ± 50) °C,烧结负压为 13.0 ~ 17.0 kPa,终点温度在 390 ~ 470 °C,主管温度在 130 ~ 190 °C。烧结矿碱度范围按 2.00 ± 0.06 控制,MgO 含量范围为 2.00% ± 0.15%,FeO 含量范围为 8.5% ± 1.0%,

SiO₂ 含量分别按 4.75%、4.85%、4.95%、5.15%、5.30%、5.40% 控制。

3.2 烧结矿化学成分变化

烧结调整 SiO₂ 含量生产实践期间,以烧结矿中 SiO₂ 含量为 4.75% (试验方案为 1[#]) 作为基准,以步长 0.15% ± 0.05% 调整烧结矿中 SiO₂ 含量,并对不同 SiO₂ 含量的烧结矿进行化学成分分析,具体数据见表 5。

表 5 烧结矿化学成分及碱度

试验方案	化学成分(质量分数)/%							R
	TFe	FeO	CaO	SiO ₂	MgO	F	S	
1 [#]	56.99	8.52	9.63	4.75	1.96	0.13	0.03	2.03
2 [#]	57.11	8.59	9.72	4.85	1.94	0.12	0.03	2.01
3 [#]	56.65	8.55	9.95	4.95	1.99	0.13	0.02	2.01
4 [#]	56.41	8.89	10.09	5.15	1.99	0.12	0.02	1.96
5 [#]	56.07	8.58	10.38	5.28	2.00	0.11	0.03	1.96
6 [#]	55.90	9.18	10.54	5.35	2.00	0.10	0.03	1.99

试验研究过程中,为消除碱度对烧结矿质量指标的影响,控制烧结矿碱度在同一水平,因此随着烧结矿 SiO₂ 含量逐渐提高,烧结矿 CaO 含量明显上升,从 9.63% 增加至 10.54%,提高了 0.91 个百分点,烧结矿品位明显降低,烧结矿铁品位由 56.99%

降低至 55.90%,降低了 1.09 个百分点。

3.3 烧结矿物理性能指标变化

烧结调整 SiO₂ 含量生产期间,烧结矿物理性能指标见表 6。

表 6 烧结矿粒度组成及转鼓强度

试验方案	粒度组成(质量分数)/%						平均粒径/mm	转鼓强度/%
	>40 mm	25 ~ 40 mm	16 ~ 25 mm	10 ~ 16 mm	5 ~ 10 mm	<5 mm		
1 [#]	2.41	15.35	30.23	25.26	20.79	5.96	17.28	77.37
2 [#]	2.18	21.46	22.70	25.99	21.82	5.85	17.54	77.78
3 [#]	1.88	17.06	31.25	23.38	20.92	5.51	17.90	78.28
4 [#]	3.51	16.56	34.45	17.14	24.36	3.98	19.05	79.68
5 [#]	4.48	15.19	34.53	18.48	23.47	3.85	19.10	79.84
6 [#]	4.06	18.49	34.46	16.06	22.76	4.17	18.51	79.78

由表 6 可以看出:

(1) 烧结矿 SiO₂ 含量从 4.75% 逐步提高至 4.85%、4.95%、达到 5.28%,烧结矿平均粒径及烧结矿转鼓强度均呈上升趋势,较基准点平均粒径指数增加了 1.82 mm,转鼓强度提高了 2.47 个百分点;其中当 SiO₂ 含量提高到 5.15% 以上,达到 5.28% 时,烧结矿平均粒径指数和转鼓强度增加趋势减缓,变化不明显;当 SiO₂ 含量继续提高至 5.35% 时,烧结矿平均粒径和转鼓强度降低。

(2) 烧结矿 SiO₂ 含量从 4.75% 逐步提高到 5.28%,烧结矿粒度组成 <5 mm 占比逐步减少,较 1[#] 方案降低 2.11 个百分点, >16 mm 占比增加明显,较 1[#] 方案升高 6.21 个百分点,其中 16 ~ 25 mm 粒级增加幅度较大,升高了 4.30 个百分点。烧结 SiO₂ 含量继续提高到 5.35%,烧结矿粒度组成开始变差,<5 mm 粒级增加,>40 mm 粒级减少。分析认为,试验过程中为保证烧结矿碱度不变,提高烧矿

SiO₂ 含量后,烧结矿中 CaO 含量也增加,从而增加了烧结矿中液相的生成,矿粉熔融黏结程度扩大,冷却结晶黏结相强度改善,提高了烧结矿的强度,使烧结矿粒度分布改善,趋于合理。但是继续提高烧结矿中 SiO₂ 含量,烧结矿中硅酸盐玻璃相大量生成,硅酸二钙增加,导致烧结矿脆性增加,更加易碎,影响烧结矿的强度和粒度组成。

4 不同 SiO₂ 含量烧结矿显微结构分析

为了研究不同 SiO₂ 含量对烧结矿矿物组成的影响,针对 SiO₂ 含量 4.75% ~5.35% 的烧结矿的矿物组成及显微结构进行了分析,其烧结矿矿物组成如表 7 所示,显微结构见图 1—图 6。

表 7 烧结矿矿物组成(体积分数) %

试样编号	磁铁矿	赤铁矿	铁酸钙	硅酸二钙	玻璃
1 [#]	36	17	36	2	9
2 [#]	35	18	35	3	9
3 [#]	32	20	37	3	8
4 [#]	29	21	40	3	7
5 [#]	34	19	38	4	6
6 [#]	37	14	39	3	7

从矿物组成分析,烧结矿中的铁酸钙含量较多,这也是高碱度烧结矿的特点。赤铁矿含量随着烧结中进口矿 A 配比的降低,有降低的趋势,随着自产精矿增加烧结中磁铁矿升高。烧结矿中铁酸钙的含量在烧结矿 SiO₂ 含量为 5.15% 时达到最大值。

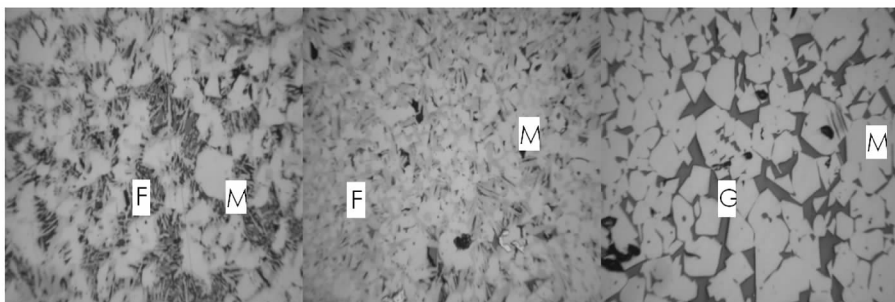


图 1 1[#]烧结矿的显微结构

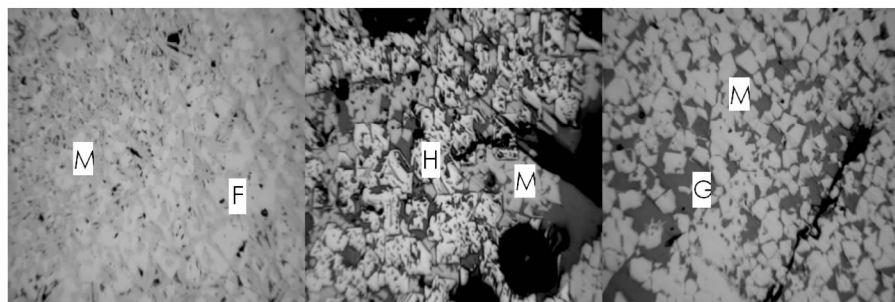


图 2 2[#]烧结矿的显微结构

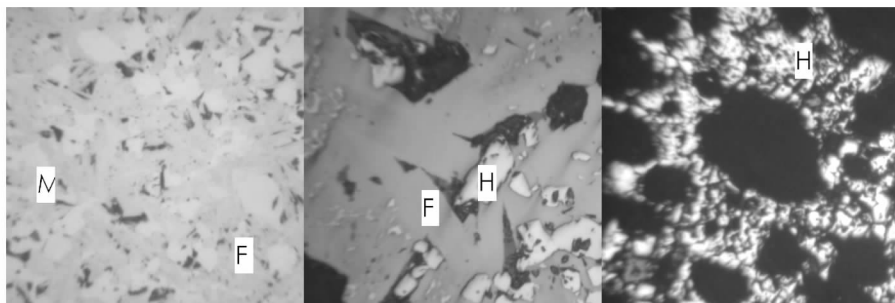
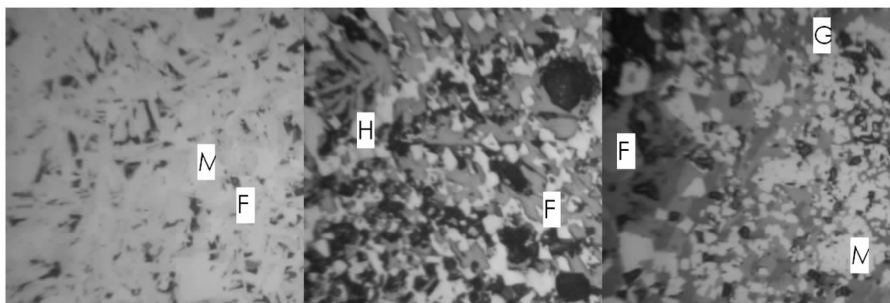
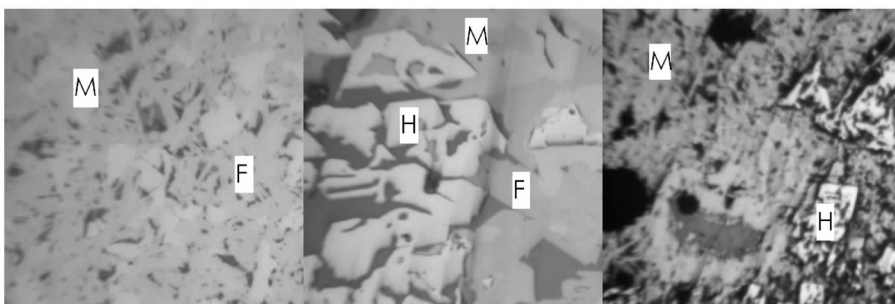
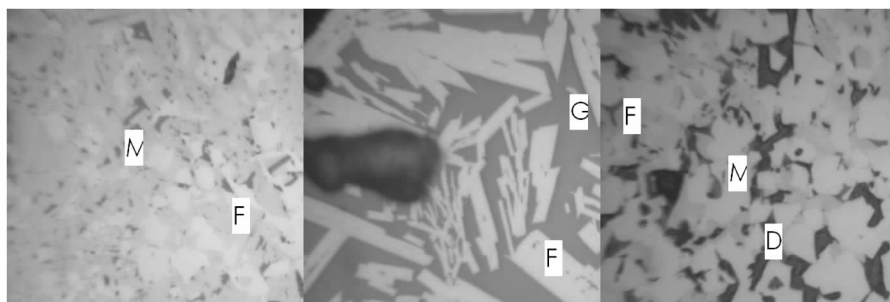


图 3 3[#]烧结矿的显微结构

图 4 4[#]烧结矿的显微结构图 5 5[#]烧结矿的显微结构图 6 6[#]烧结矿的显微结构

由图 1—图 6 可知:

(1) 1[#]方案和 2[#]方案的烧结矿主要以磁铁矿和铁酸钙熔蚀交织结构为主,部分区域磁铁矿与玻璃相形成的斑状结构富集;3[#]方案的烧结矿中赤铁矿与铁酸钙交织结构较多,赤铁矿发育,多与铁酸钙构成交织结构,气孔周围赤铁矿富集,铁酸钙发育多呈针状富集,部分区域铁酸钙(板柱状)富集与赤铁矿构成交织结构;4[#]方案的烧结矿中赤铁矿与铁酸钙交织结构也较多,但明显比 3[#]方案少,赤铁矿比较发育,部分区域大面积富集,针柱状铁酸钙较多;5[#]方案的烧结矿中赤铁矿与铁酸钙构成的交织结构较多,部分区域与玻璃相构成交织结构,部分区域可见斑状的磁铁矿与铁酸钙(柱状)及玻璃相交织结构,

铁酸钙板柱状较多,部分区域可见精矿聚集成团状现象;6[#]方案的烧结矿中硅酸二钙部分区域较发育,赤铁矿多与玻璃相或者与铁酸钙构成交织结构,铁酸钙板柱状较多,部分区域可见精矿聚集成团状现象。

(2) 综合不同 SiO_2 含量的烧结矿显微结构分析,随着 SiO_2 含量的增加,板柱状铁酸钙增加,其原因是在烧结矿碱度不变的情况下, SiO_2 含量增加使烧结矿中 CaO 含量增加,导致板柱状铁酸钙大量生成;当 SiO_2 含量增加到 5.28% 左右,部分区域硅酸二钙大面积富集。

综上所述,结合岩矿相分析结果,为保证烧结矿的品位的同时使烧结矿转鼓强度和平均粒径达到最

优,烧结矿 SiO₂ 含量应控制在 5.15% 为最佳。

5 结论

(1)在控制烧结矿碱度 1.96 ~ 2.02 的条件下,随着烧结矿 SiO₂ 含量逐步增加至 5.15%,烧结矿转鼓强度及平均粒径均明显提高,当 SiO₂ 含量增加至 5.28% 以上达到 5.35% 时,烧结矿转鼓强度及平均粒径下降。

(2)在包钢烧结自产精矿高比例(40%左右)结构下,控制烧结矿碱度为 2.0 时,在保证烧结矿的品位的同时,通过控制烧结矿 SiO₂ 含量在 5.15%,烧结矿转鼓强度可以达到 79.5% 以上,平均粒径提高到 19 mm 以上,为大高炉实现增产降焦奠定了炉料基础。

(3)基于目前烧结原料配比条件下,烧结矿显微结构以磁铁矿与铁酸钙熔蚀交织结构为主,随着烧结矿 SiO₂ 含量的增加,板柱状铁酸钙增加,硅

酸二钙出现大面积富集。烧结矿中铁酸钙的含量在烧结矿 SiO₂ 含量为 5.15% 时达到最大值。

参 考 文 献

- [1] Xiao Z X, Chen L K, Yang Y D, et al. Effect of Coarse - Grain and Low - Grade Iron Ores on Sinter Properties[J]. ISIJ International, 2017, 57(5):795 - 804.
- [2] 胡鹏,饶家庭,付卫国,等. 高钛型钒钛烧结矿不同硅钙水平研究[J]. 烧结球团,2017,42(3):16 - 20.
- [3] 李和平,吴胜利,苏博. SiO₂ 含量对铁矿粉液相特性及固结强度的影响[J]. 烧结球团,2019,44(5):23 - 28.
- [4] 闫志武,张建良,张亚鹏,等. SiO₂ 对烧结矿冶金性能及微观结构的影响[J]. 工程科学学报,2016,38(7):913 - 919.
-
- (上接第9页)
- [7] L. S. Campbell, W. Compston, K. N. Sircombe, et al. Zircon from the East Orebody of the Bayan Obo Fe - Nb - REE Deposit, China, and SHRIMP Ages for Carbonatite - related Magmatism and REE Mineralization Events [J]. Contrib Mineral Petrol,2014,168:1041.
- [8] 龚国洪,裘愉卓,姚林波. 硅镁钡石的粉晶 X 射线衍射新数据[J]. 矿物岩石地球化学通报,2011,30(S1):275.
- [9] 龚国洪,裘愉卓,肖昕. 硅镁钡石的晶体结构[J]. 矿物岩石地球化学通报,2011,30(S1):276.
- [10] 裘愉卓,刘世荣,龚国洪,等. 硅镁钡石的重新定义[J]. 矿物岩石地球化学通报:2011,30(S1):303.
- [11] 张淑君,丁浩华,郭宗山,等. 硅钡铁钛石的新资料[J]. 地质评论,1982,28(3):250 - 257.
- [12] 刘铁庚,王冠鑫,巩积文. 水磷钙钛石在我国的发现及其研究[J]. 矿物学报,1987,7(2):177.
- [13] 张培善,王中刚. 白云鄂博发现三种云母族新矿物:杨主明云母、氟木下云母和氟铁金云母[J]. 矿物学报,2013,33(S1):282.
- [14] 徐金沙,杨光明,李国武,等. 新矿物丁道衡矿 - (Ce):珀硅钛铈矿的同质多相体和硅钛铈矿亚族 C(1)位上的钛类似矿物[J]. 矿物学报,2008,28(3):237 - 243.
- [15] 张培善,陶克捷,李方华. 中华铈矿 Ba₂Ce(CO₃)₃F:新发现的一种稀土矿物[J]. 矿物学报,1981,1(2):65 - 74.
- [16] Zaitsev A N, Yakovenchuk V N, Chao G Y, et al. Kukharenkoite - (Ce), Ba₂Ce(CO₃)₃F, a New Mineral from Kola Peninsula, Russian and Quebec, Canada[J]. Eur. J. Mineral,1996,8:1327 - 1336.