

兴澄特钢烧结优化配矿的研究

邓秋明^{1,2} 吴胜利¹ 韩宏亮¹

(1. 北京科技大学冶金与生态工程学院 2. 江阴兴澄特种钢铁有限公司)

摘要 对兴澄特钢常用铁矿粉的常温特性、微观特性以及高温特性进行了研究,探讨了各种铁矿粉的合理使用原则。在此基础上,设计了五组烧结优化配矿方案,并进行了烧结杯试验和工业性试验,均获得了良好的烧结效果,验证了基于铁矿粉自身特性的烧结优化配矿方法的可行性,为兴澄特钢充分利用既有的铁矿粉资源,改善烧结矿质量和降低烧结矿成本提供了良好的对策。

关键词 铁矿粉 烧结试验 烧结性能 优化配矿

1 前言

近几年,随着国民经济的快速发展,我国钢铁工业发展迅速,由此对铁矿石的需求不断增长,致使供求矛盾日益突出^[1]。受国内铁矿石资源和开采技术经济条件的限制,国内铁矿石产量严重不足,造成进口铁矿石数量连年大幅度增长,进口依赖度将进一步增加。但是,随着优质铁矿粉供应紧张,价格逐年上涨,质量逐步下降,对烧结生产造成较大影响。因此,合理地利用国内外廉价铁矿粉资源,生产高质量的烧结矿以及获得理想的经济效益是每个企业追求的目标^[2,3]。

然而,决定烧结矿质量的因素,不仅仅是铁矿粉的常温特性^[4],更大程度上取决于铁矿粉内在的微观特性(铁矿物形貌、脉石赋存状态等)和高温特性(同化性、液相流动性、粘结相强度、铁酸钙生成特性、连晶强度)。同样是进口铁矿粉,产地不同、价格不同、常温特性不同、微观特性和高温特性也有不同。在高温、多相、复杂的烧结反应过程中,这些特性的相互影响、相互制约、相互作用、相互补充,使烧结矿的冶金性能有优劣之分。因此,认识、把握和依据铁矿粉的烧结特性,充分发挥各种铁矿石的优势,扬长避短,指导烧结优化配矿,实现烧结生产的高

效、优质、节能,对于正在发展的兴澄特钢炼铁具有重要的现实意义。

本文通过对兴澄特钢烧结常用铁矿粉的常温特性、微观特性和高温特性进行研究,探讨了铁矿粉的合理使用原则。在此基础上设计了烧结优化配矿方案,并通过烧结杯试验和工业试验进行了验证,为兴澄特钢充分利用现有铁矿资源,最大限度地改善烧结矿质量和降低烧结矿成本提供了理论基础和技术依据。

2 几种常用铁矿粉的常温特性

兴澄特钢烧结常用的几种铁矿粉的化学成分和平均粒径见表1。从化学成分可以看出,铁矿粉A和D的含铁品位较高,均在64.7%以上,烧损较低,均在1.5%以下,但A的 Al_2O_3 含量相对较高,而D的 SiO_2 含量较高;铁矿粉B的含铁品位很低,仅为58.21%,且烧损很高, Al_2O_3 含量也较高;铁矿粉C的含铁品位和烧损含量均处于中间水平,但 Al_2O_3 含量相对最高。在烧结配矿中,应根据各种铁矿粉的含铁品位、 SiO_2 含量和 Al_2O_3 含量等进行优化搭配,使之在烧结过程中获得合适的烧结性能。

从原料粒度来看,铁矿粉B的平均粒径相对最大,达到3.85 mm,虽然有利于改善烧结透气性,但不利于固结反应的有效进行;而D的平均粒径最小,仅为0.032 mm,对烧结透气性不利。配矿时,应将不同粒径的铁矿粉进行优化搭配。

表 1 烧结用铁矿粉的化学成分和平均粒径

代号	产地	化学成分/ %						平均粒径 / mm
		TFe	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	烧损	
A	巴西	65.06	3.56	0.06	0.11	1.56	1.49	2.870
B	澳大利亚	58.21	5.01	0.06	0.14	1.47	9.56	3.850
C	澳大利亚	62.59	3.44	0.09	0.11	2.17	4.78	1.850
D	中国	64.78	7.03	0.30	0.61	0.42	0.67	0.032

3 几种常用铁矿粉的微观特性

本研究采用 X 射线衍射分析和扫描电镜的方法,对铁矿粉的矿物组成和显微结构进行测定。

3.1 矿物组成

各种铁矿粉的矿物类型测定结果如表 2 所示。从表中可以看出,铁矿粉 A 中赤铁矿物多而针铁矿物少,属于赤铁矿类型;铁矿粉 B 中赤铁矿物少而针铁矿物多,属于褐铁矿类型;铁矿粉 C 中赤铁矿物多而针铁矿物也较多,属于半褐铁矿类型;铁矿粉 D 中赤铁矿物少而磁铁矿物多,属于磁铁矿类型。在烧结生产中,磁铁矿

有氧化放热效应,但粘结性弱;褐铁矿结晶水含量高,燃料消耗大,固结强度差。因此,需根据各种铁矿物的特性进行优化配矿。

表 2 各种铁矿粉的含铁矿物类型

矿石	铁矿物类型		
	赤铁矿 (He)	磁铁矿 (M)	针铁矿 (Ge)
A	多	-	极少
B	较少	-	多
C	多	-	较多
D	极少	多	-

3.2 显微结构

几种铁矿粉的微观晶貌及其特征如图 1 和表 3 所示。

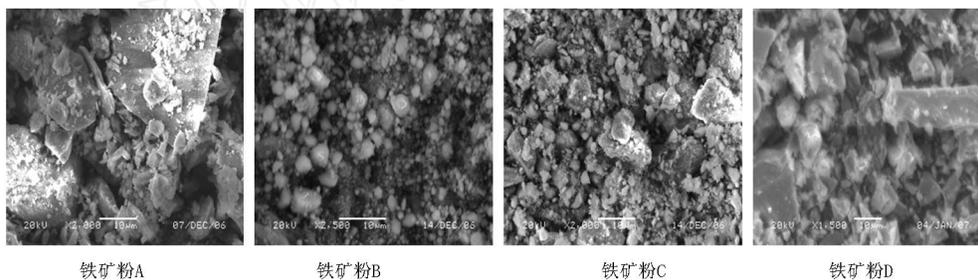


图 1 各铁矿粉的微观形貌

表 3 几种铁矿粉的微观晶貌特征

铁矿粉	晶粒平均直径/μm	晶体形貌
A	11	块状
B	2	豆状
C	4	豆状/块状
D	24	块状

从各铁矿粉的微观晶貌上看,铁矿粉 A 和 D 的晶粒为块状,且平均直径大;铁矿粉 B 的晶粒呈豆状,平均直径小;铁矿粉 C 的晶粒呈部分块状部分豆状,且平均直径小。在烧结过程中,块状晶粒和大晶粒的反应性较弱,而豆状的小晶粒则有反应性过强的特征。

4 几种常用铁矿粉的高温特性

铁矿粉的高温特性,即烧结基础特性^[4],表征铁矿石在烧结过程中呈现出的高温物理化学性质,它反映了铁矿石的烧结行为和作用,主要包括:同化性、液相流动性、粘结相自身强度、铁酸钙生成特性、连晶固结强度等。近年来国内外基于这一新概念的烧结优化配矿实践表明,掌握铁矿粉的烧结高温特性具有重要意义。为此,本文测定了兴澄特钢烧结常用铁矿粉的烧结基础特性,明确它们的互补原则,从而指导烧结优化配矿。

4.1 同化性

试验测得兴澄特钢几种常用铁矿粉的最低同化温度示于图2。由图可知,铁矿粉A和D具有很高的最低同化温度,在1350以上,说明其同化性很低;相反,铁矿粉B和C的最低同化温度仅在1200~1250之间,同化性很高。在烧结配矿中,应该采取同化性互补原则,即同化性过高和过低的铁矿粉搭配使用,互相弥补,从而在烧结过程中获得适宜的同化性能,并有扩大矿种来源的作用。

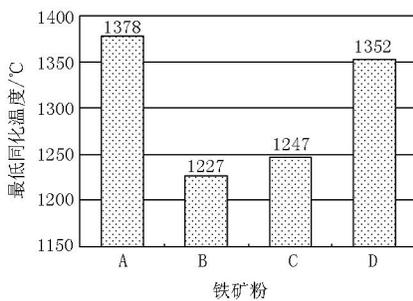


图2 各种铁矿粉的最低同化温度

4.2 液相流动性

试验测得1280下各种铁矿粉的烧结液相流动性指数示于图3。由图3可见,铁矿粉D的液相流动性指数较大,在1.5以上;铁矿粉C的液相流动性指数较小,在0.5以下;而铁矿粉A和B的液相流动性指数居中,在1~1.5之间。在烧结过程中,液相流动性大的铁矿粉,其粘结周围物料的范围较大,但过大的液相流动性会使粘结层厚度变薄,易形成薄壁大孔结构,使烧结矿整体变脆,强度降低。因此,烧结生产中应将液相流动性大小不同的铁矿粉搭配使用,以获得液相流动性适宜的烧结条件。

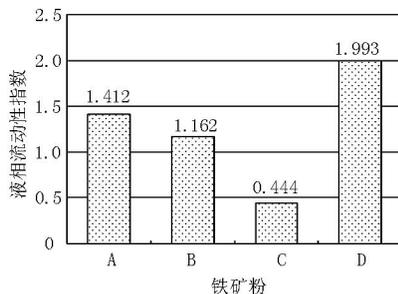


图3 各种铁矿粉的液相流动性指数

4.3 粘结相自身强度

各种铁矿粉的粘结相自身强度测定结果示于图4。由图4可看出,二元碱度为2.0时,各种铁矿粉粘结相自身强度差别较大,其中铁矿粉D的粘结相自身强度最高,达630N;而铁矿粉B的粘结相自身强度很低,仅为171N;铁矿粉A和C的粘结相自身强度均在250~300N之间。在烧结生产中,铁矿粉的粘结相自身强度越高越好。因此,为了抑制粘结相强度的降低而影响烧结矿固结强度,需要根据各种铁矿粉的粘结相自身强度特性调整烧结原料的配比,将其不利影响降至最低。

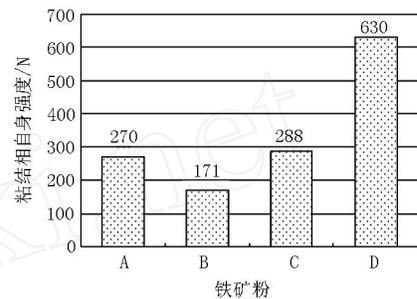


图4 各种铁矿粉的粘结相自身强度

4.4 铁酸钙生成特性

一般而言,使用铁酸钙生成性优良的铁矿石,可以增加烧结矿中复合铁酸钙的含量,从而有助于改善烧结矿的强度和还原性。图5给出了各种铁矿粉的铁酸钙生成量。

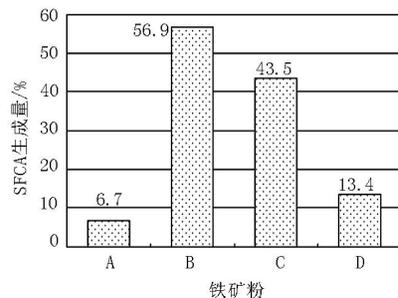


图5 各种铁矿粉烧结后的SFCA含量

由图5可见,各种铁矿粉的SFCA生成数量各不相同,且存在明显的差别。两种产自澳大利亚的铁矿粉B和C的烧结矿物中SFCA的百分含量普遍较高;而铁矿粉A和D则明显较低。可以推断,在其它烧结条件一定的情况下,含有

澳大利亚矿粉的配矿方案更易获得 SFCA 粘结相,而含有其它铁矿粉的方案则不利于获得较多的 SFCA 粘结相。

4.5 连晶固结强度

虽然连晶固结不是烧结成矿的主要机理,但铁矿粉自身产生连晶的能力也是影响烧结矿强度的一个因素。各种铁矿粉的连晶强度测定结果示于图 6。

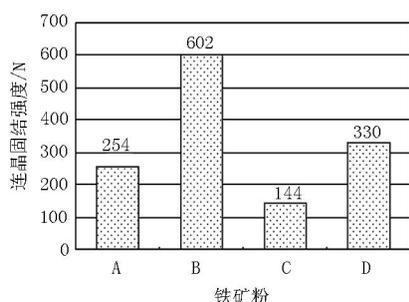


图 6 各铁矿粉的连晶固结强度

由图 6 可知,各种铁矿粉的连晶固结强度差别仍很明显,铁矿粉 B 的连晶固结强度最高,达 602 N;铁矿粉 C 的连晶固结强度较低,仅为 144 N;铁矿粉 A 和 D 的连晶固结强度则在 250 ~ 350 N 之间。烧结过程中,铁矿粉的连晶固结是对烧结矿液相粘结的一个有益补充,因而可以作为烧结优化配矿的参考,铁矿粉的连晶固结强度越高越有利,但要优先考虑其它几种特性。

5 烧结优化配矿设计及其验证

5.1 配矿原则及设计

从以上研究结果可以看出,各种铁矿粉的常温特性、微观特性以及高温特性均有明显不

同。根据基于铁矿粉自身特性的优化配矿原理及铁矿粉之间的互补性规律,需要掌握的一般配矿原则是:在常温特性、微观特性满足烧结生产的条件下,同化性高与同化性低的铁矿粉搭配使用;液相流动性指数小与液相流动性指数大的铁矿粉搭配使用;尽量多用粘结相自身强度高、铁酸钙生成能力强以及连晶强度高的铁矿粉,以使烧结混合矿具有适宜的化学成分、粒度组成、微观晶貌、同化性、液相流动性,较高的粘结相自身强度、连晶强度以及较强的铁酸钙生成能力。

根据上述配矿原则,对兴澄特钢常用的 4 种铁矿粉设计了 5 组烧结优化配矿方案,列于表 4。其中 1[#] 方案为基准方案,即优化配矿前的方案。

表 4 烧结优化配矿设计方案(重量 %)

方案	A 矿	B 矿	C 矿	D 矿	合计
1 [#]	40	23	37	0	100
2 [#]	14	27	45	14	100
3 [#]	0	27	45	28	100
4 [#]	28	35	38	0	100
5 [#]	14	41	31	14	100
6 [#]	21	48	31	0	100

5.2 烧结杯试验结果

根据表 4 的优化配矿方案进行烧结杯试验,试验结果列于表 5。

由表 5 可知,无论是产量指标、质量指标、能耗指标还是配矿成本,优化后的配矿方案都要优于基准方案,且效果明显。5 组优化配矿方案的各项烧结指标均良好,烧结成品率均在 63.7 % 以上,转鼓强度均在 68.4 % 以上,烧结固体燃耗均

表 5 烧结杯试验结果

方案	混合料水分/ %	混合料平均粒度/ mm	垂直烧结速度/ mm·min ⁻¹	成品率/ %	利用系数/ t·m ⁻² ·h ⁻¹	5~10mm 粒级/ %	转鼓指数/ %	固体燃耗/ kg·t ⁻¹	还原度/ %	成本下降幅度/ %
1 [#]	7.56	2.56	26.96	61.27	1.513	26.99	68.13	53.93	80.76	-
2 [#]	7.45	2.56	34.89	67.04	1.947	26.94	70.94	51.53	90.28	1.91
3 [#]	7.50	2.79	33.07	63.72	1.848	26.98	69.47	52.66	81.74	1.67
4 [#]	7.57	2.87	35.11	65.07	1.890	31.05	69.07	52.15	90.12	2.04
5 [#]	7.57	3.03	34.10	65.58	1.902	31.77	68.40	50.96	82.25	1.55
6 [#]	7.61	3.37	30.67	69.38	1.809	30.05	70.80	47.90	81.15	3.62

小于 53 kg/t, 利用系数均大于 1.8 t/(m²·h), 烧结矿的还原度均大于 81%, 烧结矿成本均有较大幅度的下降。这说明基于铁矿粉烧结基础特性和互补特性的烧结优化配矿方案是可行且有效的。

5.3 工业性试验结果

为了更好地验证烧结优化配矿在实际生产中的指导作用, 根据兴钢实际生产情况, 结合烧结杯试验结果, 2008年6月开始选择烧结效果

相对较好的 2[#] 方案, 在 3 号烧结机上进行了工业性试验。试验结果列于表 6。

从工业性试验结果可以看出, 基于铁矿粉烧结基础特性的优化配矿, 无论在烧结矿产质量指标、能耗指标, 还是烧结矿还原性方面均取得了良好的效果。由此可见, 本文提出的烧结优化配矿方案是成功的, 进一步验证了基于铁矿粉自身特性的优化配矿有着重要的现实指导意义。

表 6 工业性烧结试验结果

配矿方案	焦粉消耗 / kg t ⁻¹	利用系数 / t·m ⁻² ·h ⁻¹	转鼓强度 (+6.3mm)/ %	筛分指数 (-5mm)/ %	5~10mm 粒度/ %	还原度 / %
1 [#] 基准(5月)	44.77	1.482	76.64	4.77	18.91	83.42
2 [#] (6月)	43.57	1.424	76.66	4.65	18.85	84.27
2 [#] (7月)	43.30	1.510	76.68	4.75	18.90	86.61
2 [#] (8月)	41.04	1.570	76.64	4.75	18.91	86.99
2 [#] (9月)	40.14	1.497	76.66	4.74	18.78	88.48

6 结 论

1) 兴澄特钢烧结常用的几种铁矿粉不仅其常温特性、微观特性不同, 而且在同化性、液相流动性、粘结相自身强度、SFCA 生成特性以及连晶固结强度等高温特性方面也存在明显差异。

2) 基于铁矿粉自身特性的优化配矿, 是在全面掌握铁矿粉常温特性、微观特性和高温特性的基础上, 通过铁矿粉的合理搭配, 实现铁矿粉自身特性间的互补, 使混合矿粉具有适宜的化学成分、粒度组成、微观晶貌、同化性、液相流动性, 较高的粘结相自身强度、连晶固结强度以及较强的铁酸钙生成能力。

3) 基于铁矿粉自身特性和互补特性的烧结优化配矿, 经烧结杯试验和工业生产试验验证, 其烧结矿产质量指标以及烧结矿成本均优于基准方案。同时表明了基于铁矿粉自身特性和互补特性进行配矿的科学性和可行性。

参考文献

- 1 Dawson P. R. Recent Developments in Iron Ore Sintering. Ironmaking And Steel-making, 1993, 20(2): 135~143
- 2 Golding D. C., Fray T. A. T. Characterization of iron ores for production of high quality sinter. Ironmaking and Steelmaking, 1989, 16(2): 83~89
- 3 邹志毅. 铁矿烧结技术新进展. 烧结球团, 1992, (5): 12~15
- 4 王筱留. 钢铁冶金学(炼铁部分). 北京: 冶金工业出版社, 2002
- 5 吴胜利, 刘宇, 杜建新等. 铁矿石的烧结基础特性之新概念[J]. 北京科技大学学报, 2002, 24(3): 254~257
- 6 吴胜利, 刘宇, 杜建新等. 铁矿粉与 CaO 同化能力的实验研究[J]. 北京科技大学学报, 2002, 24(3): 258~261
- 7 吴胜利, 杜建新, 马洪斌等. 铁矿粉烧结液相流动特性[J]. 北京科技大学学报, 2005, 26(2): 169~172
- 8 吴胜利, 杜建新, 马洪斌等. 铁矿粉烧结粘结相自身强度特性[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(2): 169~172
- 9 吴胜利, 王军, 杜建新. 铁矿粉自身铁酸钙生成特性的基础研究[A]. 冶金研究[C]. 冶金工业出版社, 2003: 17~21
- 10 吴胜利, 刘芳, 杜建新等. 铁矿粉的铁矿物连晶特性的实验研究[A]. 第八届全国炼铁精料会议论文集[C]. 中国金属学会, 2003: 84~87

湘钢配用火箭粉的实验室研究及工业试验

刘安虎

(湘潭钢铁集团有限公司炼铁厂)

摘 要 介绍了烧结料中配加火箭粉的试验室研究和工业试验情况。结果表明:该矿在湘钢炼铁厂使用效果很好,配用 10%~20%时,在固体燃耗有所上升的条件下,各项经济技术指标比未配时要好,能很好地满足高炉生产的需要。

关键词 火箭粉 烧结性能 烧结试验

1 前 言

面对新世纪钢铁市场的激烈竞争以及资源的日益紧张,钢铁企业要想提高竞争力,单靠提高烧结矿品位难度较大。在烧结生产中,原料成本约占烧结总成本的 80%,为了降低烧结矿成本,从而进一步降低生铁成本,各大钢厂都在研究多配加褐铁矿和廉价铁矿石的烧结技术和工艺。

为降低生产成本以及应对进口矿资源紧张的局面,2008 年 6 月,湘钢采购了一批澳大利亚火箭粉。该矿为 FMG 矿的一种,属褐铁矿,具有粒度较粗、疏松多孔、还原性好、熔化温度低、易同化等特点。为了用好此矿,湘钢就配加火

箭粉烧结展开了试验研究,并于 2008 年 9 月投入生产使用。烧结杯试验和工业生产结果表明:配用 10%~20%火箭粉,在固体燃耗有所上升的条件下,各项技术经济指标比未配时要好,生产的烧结矿能很好地满足高炉炼铁需要。

2 火箭粉的物化性能

湘钢烧结所用进口矿的化学成分及粒度组成列于表 1、表 2。

火箭粉的性质与杨迪矿相近,都为褐铁矿,含结晶水,其烧损大。火箭粉的自然品位不高,但烧损后品位达 65%以上,是四种澳大利亚矿中较高的,与 MAC 矿相当,比普通澳矿和扬迪矿要高;火箭粉的 Al_2O_3/SiO_2 较高,为 0.49;有害元素较低,特别是 P。火箭粉粒度较粗,比普通澳、MAC 矿要粗,较扬迪细;1~0.25 mm 中间粒子的含量比 MAC 矿少,与普通澳相当,比杨迪矿要多。

收稿日期:2009-02-03 联系人:刘安虎(411101)

湖南 湘潭钢铁集团有限公司炼铁厂

Study on Optimizing Ore Proportioning for Sintering in Xingcheng Special Steel Enterprise

Deng Qiuming et al.

Abstract In this paper, the iron ores from Xingcheng Special Steel Enterprise were researched toward their room temperature characteristics, microscopic characteristics and high temperature characteristics, and the principle of rational using iron ores were discussed. On this basis, five optimized ore proportion schemes were designed and the sintering pot test and industrial test were carried out. The results of sinter pot test and industrial test confirmed that the optimizing ore proportioning method based on ore self-characteristics is viable. This work provides good countermeasure for improving sinter quality and reducing sinter cost as much as possible under the condition of existing iron ore resources in Xingcheng Special Steel Enterprise.

Keywords iron ore, sintering test, sintering characteristics, optimizing proportioning