

# 高炉低燃比操作模式

李 丽 琴

(济南钢铁集团总公司档案处, 山东 济南 250101)

摘 要: 通过对高炉内不同区域、不同温度条件下各种反应机理的研究与分析, 提出了高炉低燃比操作技术, 最终达到高炉冶炼能耗减半与环境污染减量化的目的, 并提出了今后的研究方向。

关键词: 高炉; 低燃比; 操作模式; 燃烧带

中图分类号: TF538 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620(2002)05-0040-03

## Operating Mode for Blast Furnace with Low Fuel Rate

LI Li-qin

(The Archives Department of Jinan Iron and Steel Group, Jinan 250101, China)

Abstract: Introduces the research and analysis of various reaction mechanisms of BF under different zones and different temperature conditions, puts forward a new operating mode with low fuel rate to reduce blast furnace melting energy consumption by half and environmental pollution, as well as the research direction in the future.

Key words: blast furnace; low fuel rate; operating mode; combustion zone

## 1 前言

在钢铁企业中, 炼铁工序是能耗大户, 同时也是环境污染大户。随着烧结矿及球团矿等块矿还原性与透气性的大幅度提高, 以能耗减半、环境污染减量化为目标的新的的高炉炼铁操作技术成为日本炼铁业当前重要的研究课题之一。在此, 总结一下日本对于上述炼铁法所用高炉的运行状态进行的讨论, 并叙述一下在操作方面所涉及的技术内容以及高速还原方面的课题, 以期对我国炼铁工作者有所帮助。

## 2 高炉低燃比操作技术

### 2.1 有关低燃比操作的试验及还原指标

到目前为止, 日本所实施的低燃比操作实例, 一种是尾川等操作时(在喷吹煤焦油42.1kg/t的条件下, 燃烧比为396.1kg/t), 高炉炉身上部对烧结矿还原不起作用的低温区域较长, 从炉身下部附近开始温度急剧升高。1000℃以上的高温区域较短, 可能仅在边缘部位形成部分软熔带<sup>[1]</sup>; 另一种是在煤粉比约100kg/t的操作条件下, 实施燃料比为454.7kg/t的操作的新日铁大分厂1号高炉, 从炉身上部开始升温, 但1000℃以上的高温区域较短(见图1)<sup>[2]</sup>。

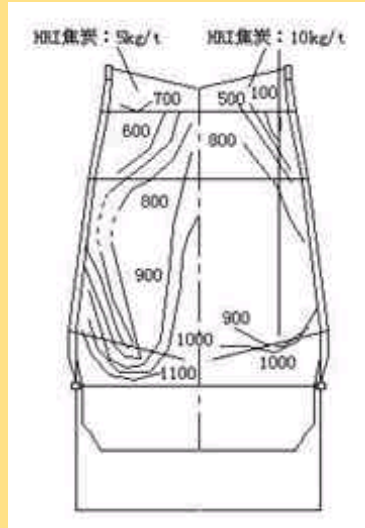


图1 低燃比操作时的温度分布

通过高炉内反应模拟器的实验可知，从炉顶至中下部的中温区域，铁矿石的还原反应是以  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{FeO}$  的反应为主，即使是JIS-RI (间接还原) 也发生生成FeO的反应(见图2)。比  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$  反应速度慢的  $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$  的还原反应，发生在1000°C以上的高温区域，高炉反应效率受此反应速度影响，并与燃料比息息相关。在高炉中从炉顶到中温区域(其特征为冶金用焦炭的温度约1000°C)的矿石滞留时间较长，并且  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{FeO}$  的还原反应速度也比较快，由此可见，在高炉中温区以上高温区域内的还原反应越来越受到重视。

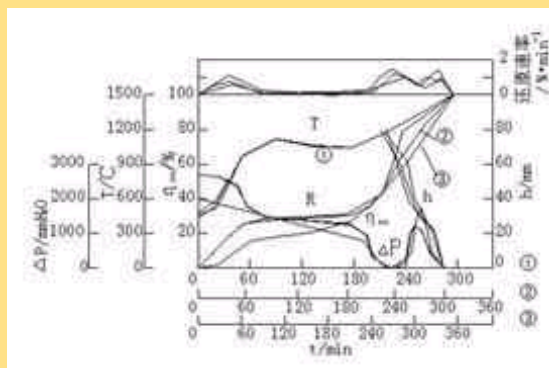


图2 在高炉条件下的烧结矿还原反应

- ①RI:74.3  $\epsilon_m$ :37.0  $\epsilon_{rm}$ :22.0  $\epsilon_{pm}$ :10.5
- ②RI:68.0  $\epsilon_m$ :30.0  $\epsilon_{rm}$ :20.5  $\epsilon_{pm}$ :7.5
- ...③RI:42.6  $\epsilon_m$ :29.5  $\epsilon_{rm}$ :15.5  $\epsilon_{pm}$ :6.2

矿石类的还原性指标，应充分利用900°C以上的间接还原率。但由图3可以看出，间接还原度越大，则高温还原速度也越大，两者正相关。但需要定量考虑块矿气孔率等方面的影响，所以应对微气孔与显气孔各自所占的比例进行检验。

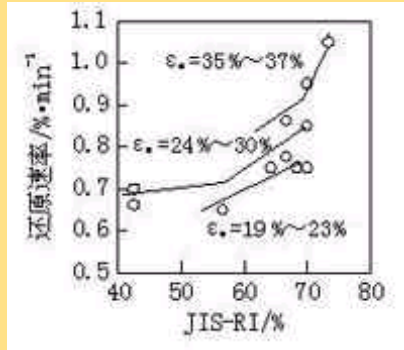


图3 JIS—RT和气孔率 $\epsilon_m$ 对高温还原率的影响

在对石井项目的最终操作方式的探讨中，高喷煤比还原以低燃比与高温作为前提条件，增加高温还原性的同时，对低温还原性也给予了关注。

## 2.2 高炉低燃比操作技术现状与研究课题

关于低燃比操作技术的高炉形态，首先提出了如图4所示的高炉各区域反应的剖面示意图。其技术内容包括：(1)对FeO—Fe反应趋向于还原平衡点(W点)的炉身效率提高技术(烧结矿的还原性改善,增加使用小块焦炭,含C块矿的使用,耦合反应,炉身吹入还原气体等)；(2)FeO—Fe还原平衡点的低温化(使用高强度高反应性焦炭,与含C非烧结块矿等)；(3)为了减少还原吸热,从炉顶装入或从风口吹入M. Fe等；(4)减少散热(降低炉体散热,减少炉渣量,降低出铁水温度等)；(5)提高风口的热吸入(例如,提高送风温度,降低热风湿度,喷入发热量高的燃料等)等。

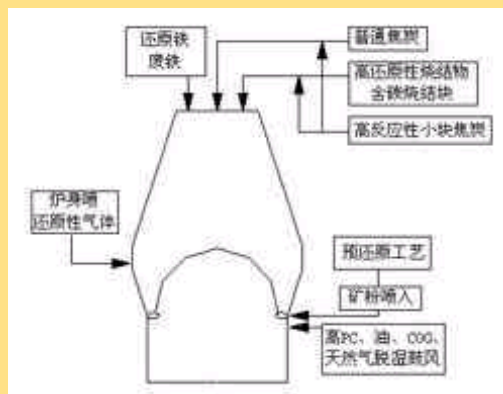


图4 下一代BF概念图

实现低燃比操作的相关技术如表1所示。虽然面临的问题较多，但(1)~(5)中所提出的一部分技术可以适用于低燃比操作的各个方面。在不考虑制造还原铁所需的含碳比的前提下，以1999年6月日本各高炉的各种平均操作因素为基准，运用区域热平衡以及物料平衡模型进行分析运算，其中铁前系统的能量收支平衡情况以焦炭、烧结及高炉为对象；纯能量以1次投入能量加燃烧能量减去回收的副产能量来表示；产生的煤气用发电的形式回收，由此测算的含碳比及纯能量整理见表2。

表1 与低燃料比操作直接相关的技术<sup>[3]</sup>

	研究的次要因素	研究的主要因素
原料的最优化	金属铁的装入(废铁、金属化球团、直接还原铁)	装入高还原性烧结矿通过风口喷入已还原铁
燃料的最优化	通过风口注入辅助燃料(沥青、天然气、煤粉)	装入高反应性焦炭

能源效率	脱湿鼓风	炉渣显热回收
	采用透平机进行顶压能源的回收	高炉炉衬的绝热衬
操作上的其他改进	高效稳定操作(集散式控制、模型推算等)	等离子超高温鼓风机超高压鼓风机

表2 高炉低燃比操作技术参数

序号	燃料比/kg. t <sup>-1</sup>	碳比/kg. t <sup>-1</sup>	喷煤/kg. t <sup>-1</sup>	风温/°C	湿度/g · m <sup>-3</sup>	渣比/kg. t <sup>-1</sup>	W点温度/°C	η <sub>炉身</sub> /%	直接还原铁/kg. t <sup>-1</sup>	品位(-)	炉顶温度/°C	热损失/=MJ · t <sup>-1</sup>	碳比/kg. t <sup>-1</sup>	净能量/=MJ · t <sup>-1</sup>
1999.6	518.3	384	134.3	1151	29	299	950	93.6	0	0.574	178	1050.6	611.4	18102
1	516.3	382	134.3	1151	29	212	950	93.6	0	0.613	216	1050.0	603.1	17935
2	525.0	325	200.0	1151	29	209	950	93.6	0	0.613	278	1050.6	587.5	17877
3	509.0	309	200.0	1151	29	206	950	99.0	0	0.613	268	1050.6	567.6	17791
4	493.0	293	200.0	1151	5	204	950	99.0	0	0.613	242	1050.6	548.9	17554
5	488.0	288	200.0	1200	5	203	950	99.0	0	0.613	233	1050.6	543.0	17391
6	462.0	262	200.0	1200	5	167	950	99.0	100(0.9)	0.613	352	1050.6	498.4	16771
7	441.0	241	200.0	1200	5	163	850	99.0	100(0.9)	0.613	301	1050.6	473.8	16471
8	418.0	218	200.0	1200	5	160	750	99.0	100(0.9)	0.613	248	1050.6	446.8	16149
9	394.0	194	200.0	1200	5	156	750	99.0	100(0.9)	0.613	230	525.3	418.7	15280

表2中, 1号是在石井项目中提出的所用块矿质量(含SiO<sub>2</sub> 4.2%, C/S约为1.0的块矿)的例子。以下以使用这种块矿为基准, 2号是喷煤200kg/t的情况; 3号是炉身效率η<sub>炉身</sub>提高到99.0%的情况; 4、5号分别是加强脱湿及提高送风温度的情况; 6号是加入预还原率为90%的还原铁100kg/t的情况; 7、8号是使用高反应性焦炭时, 高炉中温带湿度(W点)分别降低100°C及200°C的情况; 9号是在热损耗减半的几种情况下, 将各项技术结合在一起的一个测算。

### 3 高炉低燃比操作技术的研究方向

对于将来的发展, 作为课题, 提出下列技术攻关项目:

(1) W点的低温化: 包括高反应性焦炭使用技术和高反应性含碳材料使用技术。

(2) 围绕以上所述的W点, 提高炉身效率的技术: 包括保证高速还原的块矿的制造技术(高强度粘合, 合适的成分、气孔构造的形式、含碳材料复合的块矿、煤和矿石粘结核); 进行高速还原的煤气气氛控制技术(耦合反应, 大量使用H<sub>2</sub>、炉身吹入气体); 高O/C(大于7)下的高温特性改善技术(低温滴下, 在高温还原区域的融液形成过程, 炉渣熔体分离, 熔融还原, 高速渗碳等); 沿半径方向的气流分布控制(综合分析)、低空气比(小于0.6)下的细碳粉燃烧技术。

通过这些课题的开发与研究, 完全可以达到降低焦比30%、总能耗减少15%的操作水平。