

# 首钢迁钢 3 号高炉低耗冶炼的探索

路飞 解宁强 曲宁光

(首钢迁钢公司, 河北, 064404)

**摘要** 如何在大型高炉上成功实施低消耗冶炼, 是炼铁工作者一直努力追求的重要目标。迁钢 3#高炉(4000m<sup>3</sup>) 开炉以后通过对精料技术、高炉各项操作制度进行研究和探索, 经济技术指标不断攀升, 本文对 3#高炉低耗冶炼规律探索过程进行了总结, 为 4000m<sup>3</sup> 以上大型高炉冶炼降低消耗提供了思路。

**关键词** 大高炉 低耗 精料 操作制度

## 1 前言

炼铁节能降耗是国内钢铁工业 21 世纪技术进步的重点, 因为炼铁是钢铁生产中的能耗大户和主要污染源<sup>[1,2]</sup>。随着资源、能源的日益匮乏和人们环保意识的增强, 高炉炼铁未来将面临着更加严峻的挑战。如何保障炉况顺行, 提高 O/C, 降低燃料消耗才是大高炉节能降耗和降低吨铁成本最有效的措施<sup>[3]</sup>。随着原燃料恶化和高炉大型化的矛盾日益突出, 对 4000m<sup>3</sup> 以上高炉冶炼规律的摸索是一项重要的课题。

首钢迁钢公司 3 号高炉有效容积 4000m<sup>3</sup>, 设 4 个铁口, 36 个风口, 于 2010 年 1 月 8 日开炉。设计上全面吸收国内外 4000m<sup>3</sup> 大型高炉的先进设计理念, 对高炉炉型进行了系统优化, 加深了死铁层, 减小了炉腹角, 降低了高径比, 高炉炉型趋于矮胖, 工艺上采用了全干法布袋煤气除尘系统, TRT 压差发电, 煤粉并罐喷吹系统, 热风炉煤气和助燃风双预热等新技术, 使高炉具备长期稳定和低耗运行的硬件基础。

## 2 精料技术研究

精料是全面提升高炉炼铁生产技术水平的基 础, 在资源条件受限的情况下, 精料技术工作更多体现在合理炉料结构的研究, 采用合理的炉料结构可改善高炉透气性, 促进炉况顺行, 提高产量, 降低焦比<sup>[4-5]</sup>。迁钢 3 号高炉通过分析不同复合炉料的冶炼效果以及对吨铁成本的影响, 进行了优化炉料结构的工作。

### 2.1 综合炉料冶金性能研究

为了掌握不同生矿比下综合炉料冶金性能的变化及对高炉软熔带的影响, 对 3 高炉进行了不同生矿比条件下的综合炉料冶金性能研究, 为 3 高炉优化入炉矿结构提供了理论依据。综合炉料熔滴性能测试试验方案和实验结果分别见表 1 和表 2:

表 1 综合炉料试验方案

实验编号	一烧%	二烧%	球团矿%	澳矿%
1#	14.40	57.60	28.0	0
2#	14.32	57.28	23.4	5
3#	13.80	55.20	21.0	10
4#	13.72	54.88	16.4	15
5#	13.20	52.80	14.0	20

表2 综合炉料熔滴试验结果

实验 编号	T <sub>10%</sub> (°C)	T <sub>40%</sub> (°C)	ΔT <sub>1</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	ΔH <sub>s</sub> (mm)	ΔP <sub>s</sub> (Pa)	T <sub>d</sub> (°C)	ΔT <sub>2</sub> (°C)	ΔH (mm)	S Kpa. °C
1#	1173	1323	150	1428	43	1363	1458	30	11	26
2#	1162	1320	158	1433	41	1385	1476	43	13	39
3#	1166	1322	156	1428	41	1310	1471	43	11	35
4#	1156	1310	154	1415	39	1352	1472	57	14	49
5#	1143	1301	158	1371	37	1206	1468	97	15	69

由表2试验结果可以看出,随着生矿比的提高软化开始温度T<sub>10%</sub>呈下降趋势,这主要是由于澳矿块的软化开始温度较低(1134°C),其用量提高必然造成综合炉料软化开始温度的降低。滴落开始温度T<sub>s</sub>也呈现与软化开始温度相同的趋势,随着生矿比升高,滴落开始温度降低,滴落区间T<sub>s</sub>则随生矿比的提高呈现出逐步变宽的明显趋势。最高压差却随着生矿比升高呈现降低的趋势,这主要和渣量的降低有关。迁钢3号高炉通过炉料熔滴实验的研究,并结合入炉综合品位和成本因素,将生矿比控制在10%左右。

## 2.2 优化配煤结构

迁钢高炉为了优化配煤结构,对单一煤种和混合煤的燃烧性进行了实验测定,测定结果情况见表3。

表3 煤粉燃烧率表

煤种	燃烧率实测 %	燃烧率计算 (加权平均)%	相对误差 %
A	70.09	-	-
C	45.44	-	-
B	83.50	-	-
A 20%、B 20%、C 60%	55.72	57.98	1.13
A 25%、B 25%、C 50%	61.00	61.12	0.06
A 30%、B 20%、C 50%	58.02	60.45	1.21
A 25%、B 50%、C 25%	69.32	70.63	0.66

由实验结果可知,单种煤粉中B的燃烧率最高为83.5%,C的燃烧率最低只有45.44%,混合煤随着B的比例增加,燃烧率逐步升高。结合B价格低廉及其自身高低灰、低硫、高挥发易燃烧的特性,将挥发分控制在安全范围内,适当提高B比例,不仅提高了入炉煤粉质量,混合煤粉的燃烧率也大幅提高,对降低炼铁成本也起到了积极作用。迁钢3号高炉生产使用的煤粉配比为:A 26%,B 41%,C 33%,挥发分控制21%~22%。

## 3. 冶炼规律的探索

### 3.1 装料制度的摸索

装料制度是高炉重要的基本操作制度之一,它与下部调剂制度相结合,决定着高炉内煤气分布、煤气利用水平以及高炉顺行状态。

### 3.1.1 开炉初期装料制度摸索

无钟布料规律因高炉设备和原料条件的不同而存在差异,为了获得适合3号高炉的布料规律,在投产时利用激光网格法对开炉装料进行了料流轨迹和料面形状测量,为高炉开炉后装料制度调整提供参考依据。

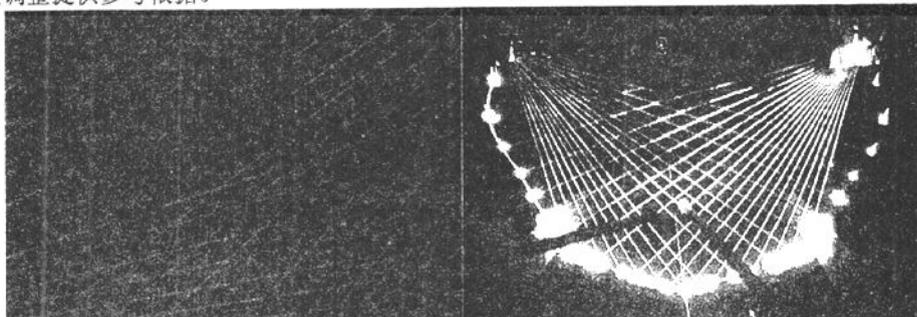


图1 激光网格法测量料流轨迹效果图 图2 高炉内的激光网格和料面图像

在激光测料面的基础上,在开炉初期对装料制度主要进行了如下调整:

- (1) 对布料角度进行调整,以获得最佳料面形状和矿焦比分布;
- (2) 为保证合理料流宽度,将料线由初始1.6m逐步提至1.4m,料流宽度由1200mm左右降至500mm左右,使布料落点更精确;
- (3) 将中心焦炭的比例由15%逐步提高至25%,很好解决了中心煤气不稳的问题。
- (4) 随着冶炼的强化,加大矿批,提高煤气利用率,降低燃料消耗。

### 3.1.2 稳定煤气分布,保持长期低耗冶炼

3号高炉通过开炉初期装料制度的调整,0/C逐步加重,在提高0/C过程中,注重平衡好边缘和中心煤气的比例。计划休风机会利用激光扫描仪对料面形状进行扫描得到高炉生产过程中比较真实的料面形状,见图3。测量的料面形状和高炉专家系统的在线布料模型相结合,利用每次测料面得到的真实数据对专家系统中的坍塌系数、自然堆角等参数进行校正。每次调整之前利用离线布料模型进行布料模拟,根据径向0/C的变化情况进行调整,有效指导了高炉布料制度的调整。高炉专家系统监测界面见图4。

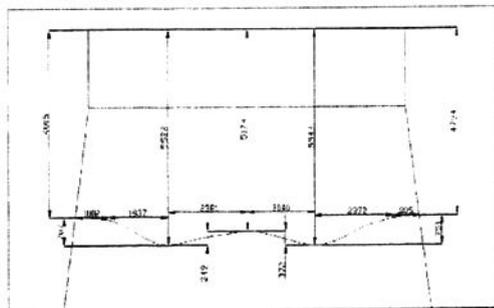


图3 休风时扫描的料面形状

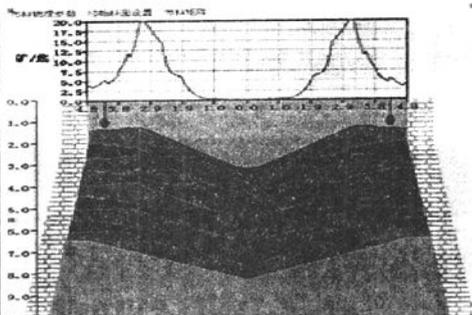


图4 高炉专家系统监测界面图

## 3.2 送风制度的摸索

据统计,4000m<sup>3</sup>高炉的送风比为1.6左右,迁钢3号高炉的风量需要平衡到6400m<sup>3</sup>/min水平。同时要考虑回旋区所占的面积是炉缸总面积的50%以上时,高炉可获得最佳透气性,即:  
 $(D-2L)^2/D^2=0.5$ ,不同高炉炉缸直径与高炉风口回旋区的长度和高炉的鼓风动能存在相对合理对应关系,如图5所示。

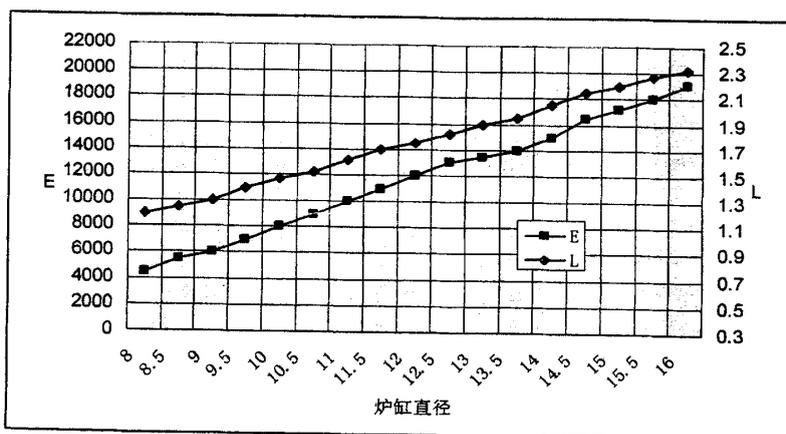


图 5 炉缸直径对应的动能和回旋区长度

迁钢 3#高炉炉缸直径 13.5m, 根据以上分析, 迁钢 3 号高炉风量应达到 6400m<sup>3</sup>/min, 回旋区长度达到 1.9m 以上, 动能要达到 14000kg(f).m/s 左右才能保证炉缸活性。

迁钢 3 号高炉在开炉后的强化过程采用上、下部调剂相结合的方式, 上部稳定住中心煤气, 适当疏导边缘煤气, 改善透气性, 下部逐步增加风量, 图 6 为 3 号高炉在 2010 年 4~5 月份高炉强化过程中风量和鼓风动能变化情况, 从图可以看出, 通过调整 3 号高炉风量稳定在 6400~6450m<sup>3</sup>/min, 鼓风动能稳定在 14000 kg(f).m/s 左右。

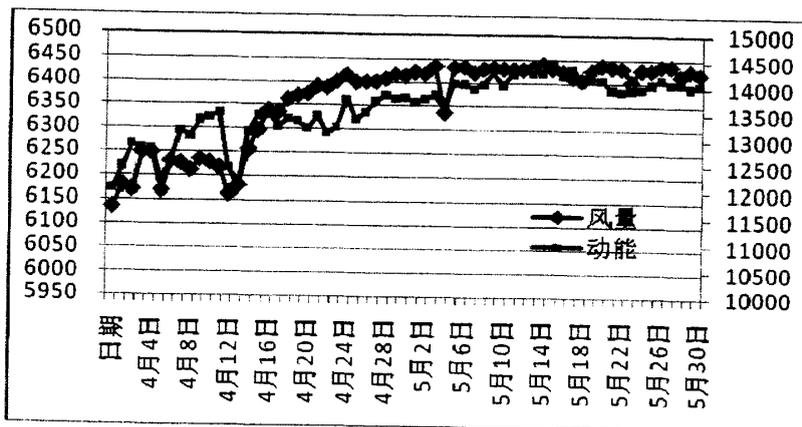


图 6 高炉强化阶段风量和动能变化情况

### 3.3 稳定合理的热制度

3 号高炉在调整过程中, 随着 O/C 增加, 焦比降低, 喷煤量升高的同时, 伴随着理论燃烧温度降低和煤焦置换比下降。为了控制合理的理论燃烧温度, 迁钢 3 号高炉采取努力提高风温使用水平和控制氧煤比例的方法。

#### 3.3.1 提高风温使用水平

高风温不仅是高炉重要的热量来源, 也是高煤比条件下强化煤粉燃烧的基础迁钢 3 号高炉热风炉采用空气和煤气双预热技术, 通过提高空气预热温度, 缩短换炉周期, 使用单一高炉煤气燃烧, 可为高炉提供最高达 1280℃ 的风温, 有效弥补了煤比升高后理论燃烧温度的降低。通过上下部调剂, 3 号高炉风温逐步用到 1260℃ 以上的水平。

### 3.3.2 控制适宜的氧煤比例

在风量和风温稳定的条件下, 喷煤量和富氧率成为影响理论燃烧温度的重要因素。若富氧率低, 喷煤量大, 理论燃烧温度过低, 若富氧率过高, 会使理论燃烧温度过高, 炉缸煤气体积膨胀, 易导致炉况不顺。为保持适宜的理燃温度, 迁钢 3 号高炉富氧率保持在 4.0~4.5%。

### 4 出铁制度的摸索

高炉开炉初期产量低, 出铁时间不稳定, 随着产量增加, 渣铁能否及时出净成为高炉稳定顺行的关键。因此, 需要对铁口深度和打泥量进行摸索, 以便稳定合理的出铁时间。经过开炉前期 3 个月的攻关, 炉门深度稳定在 3.6-4.0m, 见图 7。打泥量控制在 150L 左右, 出铁时间在 120-160min 之间的比例占到 86%以上。

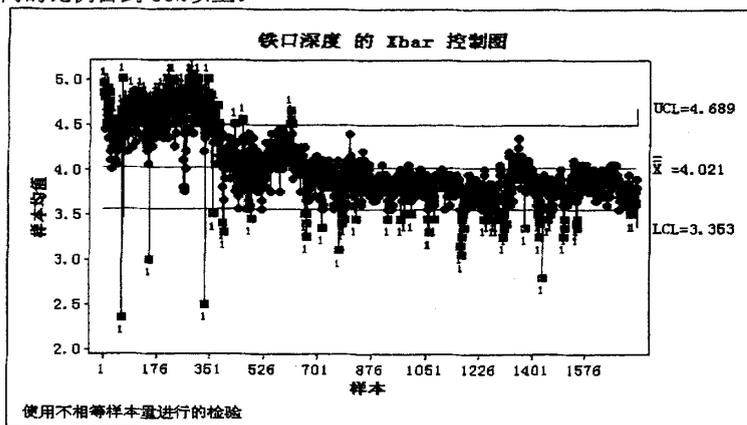


图 7 铁口深度控制变化图

### 5 主要经济技术指标

迁钢 3 号高炉开炉后通过一系列低耗冶炼技术的研究和攻关, 探索出适合自身原燃料条件下的各项操作制度, 实现了低耗冶炼。3 号高炉 2010 年主要经济技术指标见表 4。

表 4 迁钢 3 号高炉 2010 年主要经济技术指标

年月	系数 (t/m <sup>3</sup> ·d)	焦比 (kg/t)	煤比 (kg/t)	渣比 (kg/t)	富氧率 (%)	风温 (°C)	工序能耗 (kgce/t)
2010.7	2.39	285.62	180.97	303	4.17	1280	415.1
2010.8	2.42	281.83	182.67	296	4.49	1280	394.1
2010.9	2.31	285.63	179.83	303	4.31	1262	388.8
2010.10	2.41	274.26	190.7	305	4.44	1260	403.2
2010.11	2.41	272.14	193.5	299	4.52	1259	392.0
2010.12	2.29	291.43	174.68	306	4.07	1238	385.7
2011.1	2.42	287.16	175.75	306	4.38	1241	378.6
2011.2	2.43	283.35	175.70	304	4.36	1245	387.8
2011.3	2.31	309.75	170.27	311	4.27	1237	381.5
2011.4	2.36	287.86	178.70	316	4.45	1242	394.4
2011.5	2.40	285.74	183.40	313	4.58	1255	389.8
2011.5	2.39	289.91	180.16	305	4.50	1255	375.0

## 6 结语

大型高炉低耗冶炼是一个系统工作,代表了高炉炼铁技术水平的高低,在能源与资源更加紧张的今天,显得尤为重要。在目前生产条件下,如果要进一步降低消耗,需要继续做好精料工作,提高入炉矿品位,降低渣比,同时还要强化设备管理,降低设备休风率。

### 参考文献:

- [1]殷瑞钰. 绿色制造与钢铁工业, [J]. 钢铁, 2000, 35(6): 60-65.
- [2]张寿荣. 炼铁系统节能—我国钢铁工业 21 世纪技术进步的重点 [J]. 钢铁, 2005, 40(5): 1-4.
- [3]王维兴, 黄洁. 中国高炉炼铁技术发展评述[J]. 钢铁, 2007, 42(3): 1-4.
- [4]冯焕林, 贺淑珍. 原料合理利用的研究与实践[J], 钢铁, 2006, 41(7): 17-20.
- [5]邬虎林, 薛向欣, 段祥光. 包钢综合炉料冶金性能优化[J], 钢铁, 2006, 41(6): 5-8.