

# 首钢迁钢1号高炉喷煤降焦实践

马金芳 龚卫民 赵满祥  
(首钢迁安钢铁有限责任公司)

**摘要** 对首钢迁钢1号高炉实现300 kg/t以下焦比的冶炼实践进行了总结。首钢迁钢1号高炉通过完善高炉操作制度,改善焦炭质量,提高富氧率和风温,达到了焦比288.35 kg/t、煤比162.4 kg/t的生产指标,有效降低了炼铁成本。

**关键词** 大型高炉 喷煤 富氧 焦比

## Practice on pulverized coal injection and reducing coke consumption in No. 1 BF of Shougang Qian'an Iron & Steel Co. Ltd

Ma Jinfang Gong Weimin Zhao Manxiang  
(Shougang Qian'an Iron & Steel Co. Ltd.)

**Abstract** The essay summarizes the practice on pulverized coal injection and reducing coke consumption in No. 1 blast furnace of Shougang Qian'an Iron & Steel Co. Ltd. By the means of optimizing operation system of blast furnace, beneficiating coke quality, increasing oxygen enrichment ratio and blast air temperature, No. 1 blast furnace of Shougang Qian'an Iron & Steel Co. Ltd. realized the production target of 288.35kg/t coke ratio and 162.4 kg/t coal ratio and energy consumption of ironmaking is effectively reduced.

**Key words** large sized blast furnace pulverized coal injection oxygen enrichment coke ratio

### 1 概况

首钢迁钢1号高炉有效容积 $2650\text{ m}^3$ ,设有30个风口,3个铁口。高炉设计以“长寿、高效、低耗、清洁”作为设计思想和指导方针,采用了多项国内外先进技术和工艺,提高了高炉整体技术装备水平。高炉上料系统设焦丁回收系统,采用首钢开发研制的水冷并罐式无料钟炉顶设备。高炉本体设计寿命15年以上,采用软水密闭循环冷却系统;炉腹、炉腰及炉身下部采用3段国产铜冷却壁;炉缸、炉底内衬采用UCAR热压炭砖和SAVOIE大型风口组合砖。为提高热风温度,采用3座达涅利-康立斯公司的改进型内燃热风炉,采用分离式热管换热器进行预热助燃空气,在掺烧极少量焦炉煤气的条件下,使风温达到1250℃。高炉喷煤采用中速磨制粉+总管+分配器长距离直接喷吹工艺。采用螺旋法水渣处理工艺及长寿渣沟等。

迁钢1号高炉于2004年10月8日建成投产。

自投产之日起,就积极探索炉内操作冶炼制度,通过优化高炉基本操作制度、强化外围设备管理和改进出铁方式等措施,使高炉生产不但实现了长期稳定顺行,而且逐步实现了高效、低耗的目标。进入2006年,随着原燃料质量的改进和高炉基本操作制度的进一步完善,特别是2006年10月份高炉使用干熄焦后,焦炭负荷突破了6.0,并于2006年12月份实现了300 kg/t以下焦比的目标,首钢迁钢1号高炉2006年生产指标情况见表1。

### 2 生产操作实践

#### 2.1 基本制度的调整

高炉合理的冶炼操作制度有利于高炉的顺行稳定,可以优化煤气分布,改善煤气利用,促进矿石还原,降低燃料消耗。

(1)装料制度。投产初期高炉的装料制度还是以高炉能接受大风为目的进行调整,因此矿角环位少而集中,焦炭角度相对比较大。随着焦炭负荷的

表 1 迁钢 1 号高炉 2006 年技术经济指标

时间	日产量 t/d	冶炼强度 $t/(m^3 \cdot d)$	风量 $m^3/min$	风温 ℃	富氧率 %	焦比 kg/t	煤比 kg/t	综合燃料比 kg/t
一季度	6662	0.847	4939	1212	1.070	337.17	135.16	498.75
二季度	6630	0.798	4792	1231	1.250	318.89	142.73	484.30
三季度	6553	0.817	4754	1226	1.170	330.50	136.39	486.70
四季度	6464	0.741	4741	1230	1.300	301.53	151.58	488.34
10月	6381	0.775	4734	1204	0.968	314.79	138.88	485.46
11月	6530	0.743	4746	1240	1.292	301.44	153.47	488.69
12月	6480	0.705	4744	1245	1.642	288.35	162.40	490.87

加重,炉况出现波动。经过分析认为,出现不稳定的原因是炉内煤气分布不合理。随后调整以摊开矿角,稳定边缘,疏导中心为主导思想,逐步达到矿焦同角,形成边缘平坦、中心漏斗的料面形状。矿角由原来的3个环位增加到6个,焦角除中心环位外整体外扬 $3^\circ \sim 4^\circ$ ,从而逐渐疏通了中心煤气通路,高炉的压量关系得到改善,同时高炉抵抗外界的干扰能力也增强了。

另外,我们注意到焦炭负荷加重后,焦层变薄,高炉对装料调整更加敏感,此时焦炭的调整幅度不宜过大,2006年1月初和11月底布料截面图对比如图1所示。

(2)送风制度。在冶炼强度一定的条件下,随着富氧率的提高风量水平逐渐下降,加之焦炭质量的提高使高炉透气性改善,高炉具备了接受高风速和高鼓风动能的条件。这个阶段采取缩小风口面积,提高风速和鼓风动能的措施,并将原来的直风口全部改为下斜 $3^\circ \sim 5^\circ$ 的风口,以吹透中心,活跃炉缸。

为了进一步改善高炉顺行,最大限度的利用设备的现有能力,采取了提高顶压的操作,顶压由0.196 MPa增至0.201 MPa。送风制度的日趋合理不但改善了高炉生产指标,而且保证了炉况顺行和煤

气流的初始合理分布。由于炉缸工作状态得到改善,解决了风口经常损坏的难题,延长了风口使用寿命,减小了休风率,间接地提高了高炉生产指标,2006年风口损坏情况和休风率见表2。

(3)造渣制度。随着原燃料质量和入炉矿结构

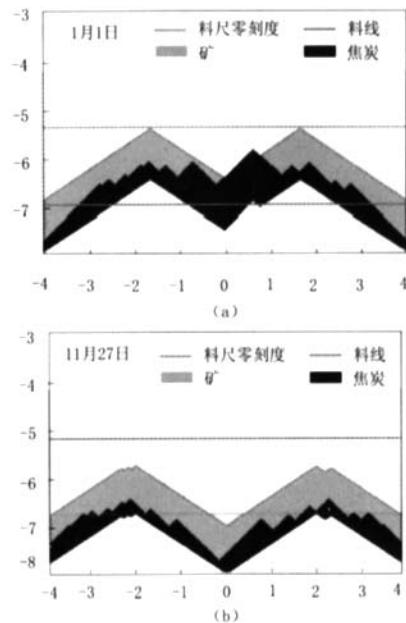


图 1 2006 年 1 月初和 11 月底炉喉布料截面比较

表 2 迁钢 1 号高炉风口损坏情况和休风率(2006 年)

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
风口损坏数,个	6	9	3	1	3	3	3	4	1	3	1	0
休风率, %	2.00	0.99	0.14	2.42	0.07	0.09	2.74	0.22	0	2.17	0	1.81

表 3 迁钢 1 号高炉渣铁质量分析(2006 年 10 - 12 月)

月份	铁水质量			炉渣性能					
	铁水温度, ℃	[Si], %	[S], %	SiO <sub>2</sub> , %	CaO, %	MgO, %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	R <sub>2</sub>	(S)/[S]
10	1483	0.36	0.028	35.02	40.00	8.56	12.94	1.142	35.36
11	1478	0.34	0.026	34.59	39.98	8.50	13.27	1.156	38.46
12	1488	0.36	0.026	34.72	40.42	8.14	13.40	1.164	38.46

的变化,渣中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的含量逐步上升,影响了炉渣的流动性和脱硫效果,为此采取了提高烧结矿中  $\text{MgO}$  含量的措施,同时高炉作业长在日常操作中及时校对碱度,动态预测和掌握炉渣成分的变化,保证硫在渣铁间足够高的分配比,保证铁水质量合格稳定。

由于炉渣成分合理,炉温充足,炉缸活跃,下半年硫的分配比有小幅提高,2006 年 10~12 月渣铁质量分析见表 3。

(4) 热制度。保持高炉合理的热制度有利于高炉的长期顺稳,在日常的操作实践中,要保持炉缸较高的物理热和合理的化学热。为此,在制定高炉“攻、守、退”措施时,将铁水温度和铁水含硅做了明确的规定,高炉工长要严格执行。同时,在日常操作中,要求和鼓励工长使用高风温,改进操作习惯。风温是高炉最廉价的能源,不用就等于浪费。按照迁钢 1 号高炉的设计条件,风温最高的设计规范是 1250 °C。在操作规范中,规定工长定风温操作。经过实践以后,迁钢 1 号高炉的风温使用水平有了明显提高(见表 1)。经过实践,迁钢 1 号高炉风口的理论燃烧温度最好控制在 2050 °C 左右,这有利于保持炉缸合理的热状态。在操作中探索了合理的富氧率和喷煤比的关系,通过对 2006 年炉况良好时的富氧率和煤比数据进行回归分析得出合理的富氧率与煤比的关系式为:煤比 = 富氧率 × 34.302 + 100.49

式中富氧率单位为%;煤比单位为 kg/t;100.49 为无量纲常数。

在这种关系下,既能保证煤粉充分燃烧,又不至于导致风口理论燃烧温度过高。

## 2.2 高风温与高富氧、大喷吹相结合

通过掺烧焦炉煤气,预热助燃风,提高热风炉烧炉操作水平,热风炉风温由年初的 1200 °C 提高到设计的 1250 °C。2006 年 12 月平均风温达到了 1245 °C。采取混喷烟煤、改造制粉过滤筛等措施,提高了制粉和喷吹能力。充分利用炼钢余氧,富氧用量由 2006 年年初 4000 m<sup>3</sup>/h 提高到年底的 6500 m<sup>3</sup>/h,富氧率由 2005 年的平均 0.07% 增至 2006 年年底的 1.80%。在煤粉喷吹量提高后保持风口前氧过剩系数在 1.0 以上,确保煤粉充分燃烧,减小未燃煤粉对高炉透气性的影响。

## 2.3 完善炉体监测,加强设备维护

保持合理的高炉操作炉型,是保证炉料及高炉煤气合理分布的主要因素。而利用现代化的监测手段全方位、多层次的分析高炉状况,可以准确及时的

判断高炉炉型的变化趋势。通过对高炉十字测温、煤气成分分析、炉体各段冷却壁特别是处于炉腰部位的铜冷却壁壁体温度、高炉进出水温差、炉底中心点温差进行动态和关联性的总结分析,摸索出了大量定性的冶炼规律。例如:利用炉底中心点温度判断炉缸活跃程度;利用铜冷却壁壁体不同深度的热电偶温差判断渣皮厚度;利用软水温差判断煤气流边缘发展程度;找出了中心煤气流发展程度与炉底中心点的温度关系以及十字测温温度分布与煤气利用率的关系等,从而更加准确地把握了炉型的变化及煤气调整方向。2006 年 11 月份十字测温与煤气利用率趋势如图 2 所示。

高强度的冶炼对高炉所属各设备是个严峻的考验,通过加强日常巡检、维护,提高检修质量,使休风率大幅减小,首钢迁钢 1 号高炉 2005 年和 2006 年休风情况对比见表 4。

表 4 迁钢 1 号高炉 2005 年和 2006 年休风情况对比

年份	计划休风		非计划休风		合计休风		休风次数
	时间	比率	时间	比率	时间	比率	
	min	%	min	%	min	%	
2005	7344	1.40	1614	0.31	8958	1.70	26
2006	4404	0.84	1170	0.21	5574	1.06	23

## 2.4 强化炉前出铁组织

随着高富氧、高顶压等一系列强化冶炼手段的使用,首钢迁钢 1 号高炉利用系数不断提高,同时也给炉前出铁工作提出了新的要求。必须改变原来的“间隔”出铁方式,实现“零间隔”出铁。为此,对炉前工艺系统及设备,冲渣系统进行了升级改造。2006 年改造冲渣设备使之具备两场同时冲渣能力,同时对炉前开口机进行改造。加大开口机小车行程,避免了铁口深度增加时不能及时钻开铁口,将开口机冷却介质由压缩风改为氮气,提高了钻头寿命,改善了铁口孔道规则程度等一系列强化出铁的措施。2006 年 4 月高炉实现了零间隔及重叠出铁。与此同时,通过提高炮泥质量,实施岗位技能培训,改变粗放的出铁模式;实行标准化操作,减少用氧气烧铁口、带潮泥放火箭等出铁故障,杜绝了“憋铁口、放火箭”等粗放操作,杜绝了铁口“跑泥、倒泥、亏渣铁”等不利高炉铁口维护的现象。经过下半年的规范操作,不但实现了“零间隔及重叠出铁”,使出铁正点率大幅提高,而且延长了出铁时间,减少了铁次,为高炉进一步强化冶炼提供了有力的保障。

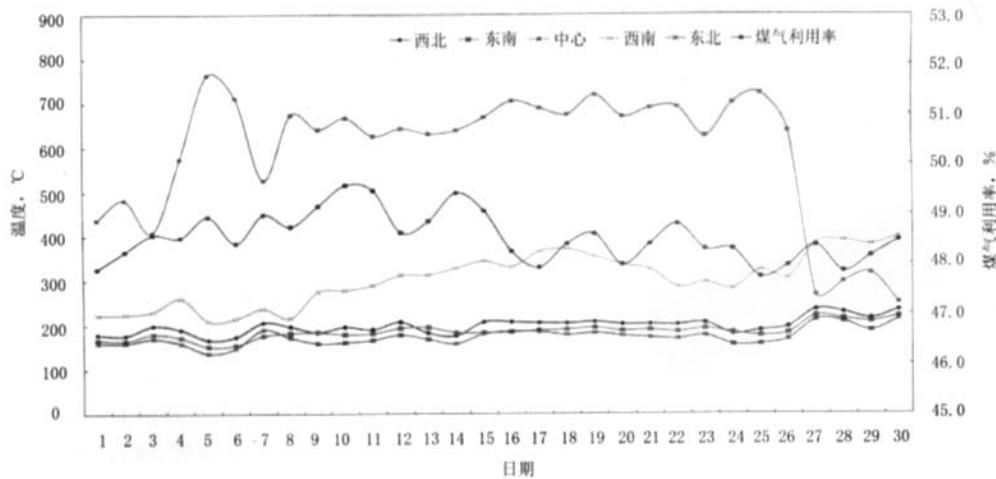


图 2 迁钢 1 号高炉十字测温与煤气利用率趋势(2006 年 11 月)

### 3 加强原燃料的质量管理

入炉原、燃料质量的稳定提高和结构的优化是确保高炉顺稳的基础，在原燃料精料管理方面，主要开展了以下工作：2006 年初焦炭质量下降，导致高炉炉况波动，高炉被迫退却适应。2006 年下半年开始与迁焦中化公司建立了联系协作机制，使高炉能够动态掌握焦化厂主要炼焦煤储量，及时掌握焦炭成分与强度的变化趋势，使高炉在调剂方面掌握了主动权。高炉根据焦炭质量变化，提前调整不同品种焦炭的比例，以缓解焦炭质量波动的影响，首钢迁钢 1 号高炉 2006 年燃料质量变化情况见表 5。

2006 年 10 月份迁焦二期工程投产后，实现了干熄焦按一定比例入炉，逐步改善了焦炭冷态强度和高温性能。而焦炭冷态强度和高温性能对高炉的

焦炭负荷水平有着很重要的作用。2006 年 4 月至 9 月迁钢 1 号高炉焦炭负荷与焦炭高温性能的关系如图 3、图 4 所示。另外，干熄焦比例提高显著改善了整体焦炭性能，首钢迁钢 1 号高炉 2006 年 11 月干熄焦比例与焦炭负荷的关系如图 5 所示。

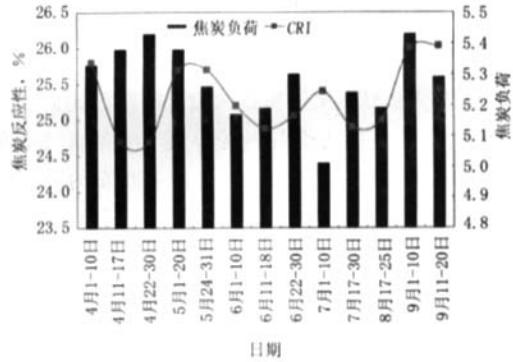


图 3 迁钢 1 号高炉焦炭负荷与反应性(CRI)的关系

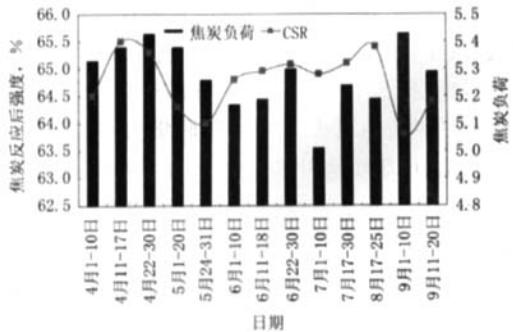


图 4 迁钢 1 号高炉焦炭负荷与反应后强度(CSR)的关系

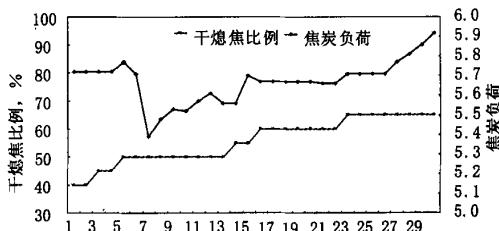


图 5 迁钢 1 号高炉焦炭负荷与干焦比例的关系

针对烧结矿变化大的特点,定期检测烧结矿低温还原性及高温冶金性能,为高炉调整提供理论依据。同时定期进行烧结矿入炉前的筛分检测,确保筛净粉末;针对存放澳矿的料场没有防雨设施,雨季对澳矿堆放场地加盖苫布,并加强筛网清理检查,杜绝不合格炉料入炉。在原燃料筛分上,摸索合理的下闸口开度,确保一定的筛分时间,对仓下筛网和料仓下闸口进行大幅度改造,将入炉烧结矿<5mm 的粉末由 6%~9% 逐步降到 3% 左右。

2006 年下半年逐步提高了生矿比例,到 2006 年 12 月入炉生矿比例达到了 15.37%。该措施既

提高了入炉矿综合品位,又减少了渣量。所有这些工作都从源头上为高炉顺行稳定高产创造了条件,为高炉逐步提高焦炭负荷打下了基础。

#### 4 结语

(1) 首钢迁钢 1 号高炉大量、细致的基础工作为高炉强化冶炼创造了良好的技术条件,原燃料质量的改善是提高高炉冶炼经济指标的重要基础。

(2) 降低焦比提高煤比需要与高风温、高富氧有机地结合;高炉装料制度以“稳定边缘,疏导中心”为方针,要保证适宜的风速和鼓风动能,保持合理的操作炉型,制定适合一定原燃料条件合理的基本制度是保持炉况长期顺稳的根本保障。

(3) 改变炉前的操作习惯,推行“零间隔及重叠出铁”适应高强度冶炼的需要,避免了因亏渣影响炉内顺行。

联系人:马金芳 高级工程师 电话:0315-7703857

E-mail:mjf66@sgqg.com

(064404) 河北省迁安市首钢迁安钢铁有限责任公司炼铁厂

收稿日期:2007-10-12

#### · 技术信息 ·

## “烧结机头氨法烟气脱硫系统”在柳钢应用成功

由武汉都市环保工程技术股份有限公司研制开发的“烧结机头氨法烟气脱硫系统”在柳钢二烧车间烧结机上应用成功,这是国内自主开发的第一套氨法烧结烟气脱硫系统投产。“烧结机头氨法烟气脱硫系统”是以焦化废氨水、氨水或液氨作为吸收剂,通过专门开发设计的“双循环分段式低能耗脱硫塔”吸收烧结烟气中的 SO<sub>2</sub>,系统设计处理烟气量 65 万 Nm<sup>3</sup>/h,设计脱硫效率大于 95%,净烟气采用湿烟囱排放,系统实现零排放,不产生二次污染。

关于烧结烟气脱硫,柳钢结合各种条件慎重选择后,决定将二烧车间烧结机烟气脱硫作为示范项目,由柳钢技术中心总体负责项目开发。针对当时国内烧结脱硫的现状,柳钢积极收集技术资料,组织技术交流、现场实地考察,经过大量技术论证后在柳钢内部形成统一认识:氨法脱硫在国内电厂、硫酸等行业已有少量应用,该方法脱硫效率高、副产品销路好,结合柳钢现状,利用焦化厂的氨源来进行烧结烟气脱硫是适宜的,但烟气脱硫技术专业性较强,依托专业环保公司的技术支持,可减小项目开发风险。

2005 年 8 月,柳钢与武汉都市环保公司正式携手合作,共同研究开发“烧结机头氨法烟气脱硫系统”;2006 年 5 月,项目建设正式开工;2007 年 3 月,进入现场调试阶段;3 个月后,系统全线完成联动试运行;自 6 月以来,该系统不间断连续稳定运行,系统不仅脱硫效率达到 95% 以上,而且除尘效率超过 40%,脱硝效率也达 20%~30%。整个项目总投资近 6000 万元。

我国钢铁工业二氧化硫排放量占全国的 6.6%,而钢铁工业中 SO<sub>2</sub> 污染主要来自于烧结烟气中,约占 60%~90%,烧结烟气脱硫是钢铁工业“节能减排”的重点。目前,烟气脱硫技术的开发及脱硫装置还是一个瓶颈,而烧结烟气脱硫工程建设又是一项技术性强、系统复杂、实施难度大的环保工程。因此,武汉都市环保研制开发的烧结机头氨法烟气脱硫系统的成功投产无疑给当前钢铁工业的“节能减排”来新的曙光。

(本刊讯)