

首钢外购焦炭质量恶化后的高炉生产实践

张思斌 王涛 李颖  
(首钢总公司)

**摘要** 针对焦炭质量劣化的状况,高炉操作以活跃炉缸为主,从上下部调剂入手,采取疏导煤气、控制合理的实际风速和鼓风动能、缓解焦炭在高温区的粉化等措施,有效地改善了高炉的顺行状况,并逐步恢复高炉指标。  
**关键词** 焦炭 高炉 炉缸 风速

The production practice of blast furnace on condition of bad-quality coke

Zhang Sibin Wang Tao Li Ying  
(Shoudu Iron and Steel Co.)

**Abstract** The production indexes were deteriorated due to bad quality coke, such methods as increasing permeability of gas, controlling rational actual blast velocity and kinetic energy of blast, and decreasing pulverization of coke during high-temperature zone of blast furnace were adopted, which have improved both the situation of blast furnace and production indexes.  
**Key words** coke blast furnace hearth blast velocity

1 概况

当前国内钢铁业发展迅猛,冶金焦需求过量与资源短缺的矛盾日益激化,劣质焦炭充斥市场。自身炼焦能力不足的钢铁企业不同程度地受到影响,大多面临着焦炭指标恶化后的高炉顺行问题。低耗高效已成为企业生存竞争的关键,低焦比是高炉炼铁追求的重要指标。矿焦比的不断增加使焦炭作为料柱骨架的作用变得尤为突出,其在炉内1 000℃以上高温区严重的质量下降势必造成炉缸不活,压差升高,煤气分布紊乱,而顺行的破坏直接导致高炉

技术经济指标退步。首钢作为焦炭使用大户,日耗焦量达到11 500 t,而自产能力仅5 000 t,50%以上依靠外购,外购焦的质量变差已严重制约了高炉技术指标的改善。首钢在强化焦炭外购质量的同时,通过近一年的生产实践,总结出以活跃炉缸为中心,调整装料与送风制度为手段,高炉固定分配焦种为原则的操作方针,效果明显。自2002年10月焦炭质量恶化以来,高炉生产指标由初期的大幅度退步已过渡到近期的逐月好转。

表1 2 000 m<sup>3</sup>以上高炉指标(三季度按7、8两月统计)

炉号	2002. 1 ~ 10			2002. 11 ~ 2003. 8			2003年焦比, kg/t		
	焦比 kg/t	煤比 kg/t	利用系数 t/(m <sup>3</sup> ·d)	焦比 kg/t	煤比 kg/t	利用系数 t/(m <sup>3</sup> ·d)	一季度	二季度	三季度
1(2500m <sup>3</sup> )	343	151	2.32	398	103	2.27	401	397	400
3(2500m <sup>3</sup> )	345	145	2.28	408	91	2.23	441	410	393
4(2100m <sup>3</sup> )	384	117	2.25	477	62	2.05	511	475	390

注:1号高炉受加钛矿维护炉底影响,入炉综合品位降低。

2 焦炭质量变化

由于焦炭市场紧张,2002年11月成为焦炭质量变化的转折点,外购焦炭的重要指标 $M_{40}$ 、 $M_{10}$ 、 $A$ 、 $S$ 、 $CRI$ 、 $CSR$ 大幅度退步。2003年以来,自产焦受煤

资源影响,灰分略有上升,但相对还比较稳定。外购焦灰分上升幅度较大,冷热强度均有下降(见表2),主要是焦炭中的灰分与焦质膨胀性质不同,在高温区沿灰分颗粒周围产生裂纹,使焦炭碎裂、粉化(见

表3),而裂纹又将使CO<sub>2</sub>深入焦炭内部组织加速气化反应进行,造成焦炭气孔增大<sup>[1]</sup>,气孔壁变薄,强度下降过程加剧(见表4)。其次灰分的增加必然导致碳含量降低,直接削弱了碳原子间有效结晶键的联结。同时数据表明冷态强度与高温性能指标不一定存在良好的相关性,但在一定程度上可反映焦炭在高炉内保持粒度的能力。

表3 入炉焦与风口焦炭粒度组成,%

时间		>80mm	80~60mm	60~40mm	40~30mm	30~20mm	20~10mm	<10mm
2002年	入炉	10.63	32.3	38.86	13.76	3.51	1.16	
	风口		16.27	32.63	20.03	17.27	8.09	5.70
2003年	入炉	9.39	29.64	41.53	13.18	4.72	1.54	
	风口		9.69	22.47	15.86	22.91	15.86	13.22

注:因只在风口附近取样,故仅作参考。

表4 入炉焦和风口焦气孔率和气孔壁厚度

项 目	风口焦				入炉焦
	10~20mm	20~30mm	30~40mm	40~60mm	
气孔率,%	74.1	62.6	59.3	55.8	45.6
气孔壁厚,μm	11.66	22.80	31.81	52.7	65.27

3 焦炭质量对炉缸工作的影响

劣质焦炭入炉,其高温冶金性能的降低劣化了

表5 4号高炉(2 100 m<sup>3</sup>)使用劣质焦炭前后生产指标对比

时 间	焦比,kg/t	煤比,kg/t	利用系数,U/(m <sup>3</sup> ·d)	坏风口,个	一级品率,%	碱度
2002.10	388	120	2.35	0	98.46	1.041
2002.11	416	88	2.25	2	96.19	1.037
2002.12	563	22	1.74	3	96.44	1.089
2003.1	676	12	1.22	17	80.97	1.124
2003.2	456	68	2.19	0	94.28	1.064

注:2002.11~2003.1因焦炭质量变差引起炉况失常。

由表5可以看出,焦炭质量恶化后,高炉技术经济指标变差。主要是对焦炭质量劣化后的初期阶段认识不足,调整上相对滞后所致。有文献指出,炉缸中心死焦堆的完全置换在10天左右。因此炉况发展不会在短期内就会突然恶化或好转,必将经历一个逐步演化的过程。抓住苗头,尽早采取调整措施,确保炉缸工作状况良好是减少劣质焦炭造成损失的关键。4号高炉炉况不顺的前期表现特征相当明显,两个出铁场出铁不均匀,风量水平和焦炭负荷逐步退却时只重视了炉前出铁工作,而忽视了炉缸中心死焦堆变化后引起的炉缸不活跃,以致延误了治理的最佳时机。反之,热量充沛、活跃的炉缸工作也将大大提高高炉对焦炭质量波动的抵抗能力,炉缸相对活跃的3号高炉稳定性明显好于4号高炉。

表2 2002年与2003年焦炭质量比较,%

品种	时间	A	S	M <sub>40</sub>	M <sub>10</sub>	CRI	CSR	外购比例
自产	2002	12.11	0.62	80.90	7.26	22.7	68.5	
	2003	12.30	0.67	80.70	7.30	23.7	65.4	
外购	2002	12.61	0.66	80.15	7.78	26.9	65.7	46.7
	2003	13.20	0.73	79.96	7.90	27.6	60.2	56.2

焦炭的骨架作用,特别是炉缸中心死焦堆的透气性、透液性大大降低,圆周工作不均,对炉况顺行构成极大威胁。集中表现在中心煤气通路堵塞,压差升高,高炉吃风、吃热能力下降,脱硫效率低下,风口大量损坏,严重时将引起炉况失常。4号高炉使用劣质焦炭前后的生产指标变化见表5。

4 操作制度调整

4.1 装料制度

我厂2座2 500 m<sup>3</sup>(1、3号)高炉以矮胖著称,高径比仅为1.98,2000年以前,为防止中心过吹,采用大矿批、中心减焦的装料制度,3号高炉甚至中心布矿抑制中心过吹。受焦炭质量影响,近两年中心煤气流明显趋弱。

针对高温区焦炭粉化严重,中心死焦堆渗透性变差,整体料柱透气性变坏的特点,上部装料以打开中心为主,辅以疏导边缘,保持煤气流的两条通路,可以起到缓解压差的良好作用,并使高炉稳定在较重的焦炭负荷,炉温水平及全风率明显提高。上部装料制度的调整情况见表6。

表6表明焦炭质量变差后,通过缩小矿批、增加

表 6 高炉布料情况

炉号	2002 年 10 月前					2002 年 10 月后				
	边缘煤气, %	中心煤气, %	矿石批重, t	外焦圈数	内焦圈数	边缘煤气, %	中心煤气, %	矿石批重, t	外焦圈数	内焦圈数
1	12.00	10.31	54.9	6.8	2.1	11.60	9.97	53.7	6.8	2.5
3	10.83	13.16	53.9	6.7	3.0	10.42	11.74	52.6	6.8	3.8
4	12.43	10.65	44.4	7.0	3.0	10.34	10.49	41.1	7.4	4.3

注:内、外焦圈数为最内、最外两个焦炭挡位圈数。

中心及边缘焦炭量可以保持或发展两股煤气流,尤其应确保中心焦炭量。合理的调整将抵消劣质焦炭对煤气流分布的不利影响,从而达到炉况顺行的目的。而几次试图依靠加重边缘、扩大矿批来抑制边缘煤气流不稳的调整均以失败告终。需要说明的是,矿批大小不应局限于某一范围内,它是不同原料、炉况下的一个变量,与布料角度、料柱透气性、风量水平、炉缸工作状态相辅相成。伴随全风率提高,炉缸活跃程度向好,可逐步扩大矿批。

4.2 送风制度

送风制度的选择不仅要考虑活跃炉缸,也要考虑焦炭劣化后下部回旋区的变化。重点从实际风速与鼓风动能着手,近两年送风制度的变化见表 7。焦炭在炉内的强度、粒度不仅与其反应性有关,而且风口前回旋区强烈的碰撞、剪切、冲刷同样会造成大

量碎焦、粉焦产生<sup>[2]</sup>。鉴于劣质焦炭本身高温强度低,回旋区前端、下部粉焦堆积,气流压力升高,与正常状态相比死焦堆增大,回旋区深度减小,在此状况下往往会因实际风速过大引起回旋区畸变,使风口前沿下端频繁烧损。另外,高炉全部压损中 30% 源于软熔带及以下,实际风速过高无疑更增加了这部分压损,因此采用高风速高动能强制性地去吹透中心显然不合理。首钢生产实践证明,扩大风口面积,适当降低实际风速和鼓风动能,以减轻回旋区焦炭粉化程度,并配以上部的中心疏导可较好地解决这一问题。尤其在劣质焦炭引发炉况不顺的初期更为有效,随着炉况稳定,炉缸活跃,可逐步平衡风量,增加鼓风动能。以 4 号高炉为例,经过上述调整,目前焦比水平已达 381 kg/t,利用系数 2.32,矿批由年初的 40 t 扩为 46 t,逼近历史最好水平。

表 7 高炉送风制度变化

项 目	1 号高炉		3 号高炉		4 号高炉	
	2002. 1 ~ 10	2002. 11 ~ 2003. 8	2002. 1 ~ 10	2002. 11 ~ 2003. 8	2002. 1 ~ 10	2002. 11 ~ 2003. 8
风量, m <sup>3</sup> /min	4967	5101	4741	4744	4453	4428
鼓风动能, kJ/s	123. 13	126. 38	113. 19	100. 04	112. 12	104. 87
实际风速, m/s	257	257	253	244	248	241
风口面积, m <sup>2</sup>	0. 3845	0. 3897	0. 3823	0. 3862	0. 3544	0. 3616

5 喷吹煤粉的影响

高炉生产中焦炭的溶损反应是与未燃煤粉共存情况下进行的,而且随高炉喷煤量增加,风口区未燃煤粉呈上升趋势,因此高炉喷煤条件下,煤粉对料柱透气性及焦炭溶损反应的影响不可忽视。

5.1 未燃煤粉对透气性的影响

由于煤粉来不及在风口回旋区完全燃烧,随煤气流上行吸附或粘结在炉料表面、孔隙的煤粉量增加。首钢对 2 号高炉风口的测定表明,无富氧喷吹无烟煤状态下,风口前端 400 mm 煤粉燃烧率为 70%,富氧率 6% 以下时,燃烧率提高到 80%。而文献[2]中指出在 1 000 ~ 1 400 ℃ 区域未燃煤粉量可达 1 ~ 2 kg/(min · m<sup>2</sup>),日本高炉同样证实由未燃煤粉形成半焦堆积于死焦柱周围,使死料柱焦炭块

度下降,结果炉缸中心难以吹透。大量未燃煤粉如不能很快被初成渣吸收,则会造成炉缸堆积、料柱透气性恶化。因此,优化煤种及燃烧环境,以减少未燃煤粉量对改善炉缸工作、降低高炉压差有利。首钢 3 号高炉采用了高风温、富氧、混煤喷吹等措施,生产指标及顺行状况明显优于使用相同焦炭结构的 4 号高炉。2 座高炉 2002 年生产指标对比见表 8。

5.2 高反应性煤对焦炭高温性能影响

炉内降低焦炭的反应性除采取减少炉料中起催化作用的碱金属、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量等措施以外,喷吹高挥发分的烟煤同样可以抑制焦炭的气化速度。由于气化反应后活化能只有焦炭的 60% ~ 70%<sup>[2]</sup>,因此未燃煤粉的反应性远大于焦炭的反应性,并在高炉中优于焦炭进行气化反应。高炉气氛中煤粉不可能在

表 8 混煤与无烟煤高炉指标比较

高炉	煤种	焦比,kg/t	煤比,kg/t	一级品率,%	风温,℃	富氧率,%	利用系数,t/(m <sup>3</sup> ·d)
3 号高炉	混煤	353	141	98.6	1118	0.66	2.31
4 号高炉	无烟煤	387	115	98.2	1069	0	2.24

几毫秒内完全燃烧,总有少量未燃煤粉的存在。高炉喷吹高反应性煤虽然无法改变焦炭与 CO<sub>2</sub> 的反应能力,但可减少焦炭与 CO<sub>2</sub> 反应的机会。我厂 3 号高炉按烟煤(东胜、神府):无烟(阳泉、京西、太西)=1:3 进行混煤喷吹,而 4 号高炉喷吹单一无烟煤,东胜、神府煤的反应性远高于阳泉、京西、太西煤,两者对焦炭的保护作用不同。三种不同焦炭喷煤前后反应性的变化如图 1 所示。不同煤种在各温度区间的反应性如图 2 所示。

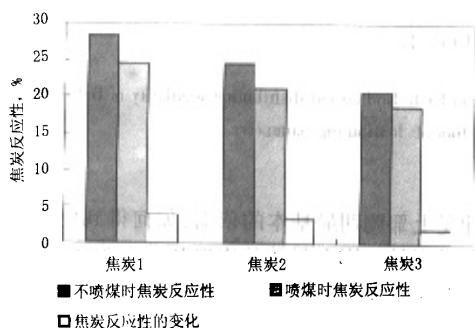


图 1 焦炭反应性变化

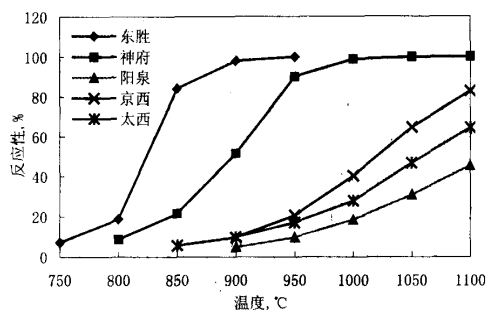


图 2 不同煤粉不同温度下的反应性

注:国家煤炭质量监督检测中心测试。

由图 1 可知,高反应性煤对不同焦炭的反应性影响不同,随着焦炭反应性的升高,煤对焦炭反应性的影响增大,因此,喷吹高反应性煤对使用劣质焦炭的高炉效果更明显。

## 6 焦炭固定搭配入炉

首钢外购焦炭种类杂,分布广,供应商达 26 家。

其中北京东焦日供 3 000 t,数量、质量相对稳定,而其他外购焦炭无论数量、质量均难以保证。2003 年 5 月以前,焦炭基本处于来什么吃什么的状态。全厂 5 座高炉焦炭分配比例极不固定,从而造成炉况突发性波动频繁发生。针对这种情况,从生产组织上加强管理,合理分配各高炉焦炭用量,提高用焦炭的固定比例(见表 9),确保单一焦种波动不超过 10%,对炉况顺行稳定起到至关重要的作用。

表 9 焦种固定搭配情况,%

高 炉	自产焦	东焦	外购焦	不合格焦
1 号高炉	40	30	30	<20
3 号高炉	40	30~40	20~30	<20
4 号高炉	40	30~40	20~30	<20

## 7 操作管理

(1) 根据原燃料的供应数量、质量、炉况基础和趋势以及季节性特点等,修订完善好各高炉的“攻、守、退”措施,使之具有针对性和可操作性,以指导工长操作和炉况调剂。

(2) 抓好炉墙温度、水温差、铁水温度、理论燃烧温度、风速和鼓风动能、煤气分析、十字测温、压差关系等冶炼参数的监测和分析工作,以抓住炉况失常苗头。不断完善对炉缸的不活跃征兆和程度的数据总结,保证炉缸工作长期稳定、均匀活跃,并保持合理的操作炉型,把炉况失常消灭于萌芽状态。

(3) 不断提高工长的技术操作水平和综合判断能力,尤其要抓好低炉温的控制、气流管道的处理等关键环节。

(4) 做好炉内调整的同时,工长操作力争全风量、全风温,探索好不同阶段合适的鼓风动能,使炉缸工作活跃,以提高对外界的抗干扰能力。

## 8 参考文献

- 王 平,惠志刚. 马钢 2500m<sup>3</sup> 高炉上下部调剂实践. 钢铁,2002 (7):12~15
- 王国雄,王铁,沈峰满,杨佳龙. 现代高炉粉煤喷吹. 北京:冶金工业出版社,1997.

联系人:张思斌 工程师 电话:010-88295902

(100041)北京市石景山区首钢炼铁厂

收稿日期:2003-10-10