

## 首钢2号高炉开炉生产实践

张贺顺 王胜 马洪斌  
(首钢总公司)

**摘要** 对首钢2号高炉停炉99天后重新开炉的生产实践进行了总结。通过精心的开炉准备,并加强炉内操作和炉前出铁,2号高炉炉况很快恢复正常。

**关键词** 高炉 开炉 操作制度

### Practice on Startup in Shougang No. 2 BF

Zhang Heshun Wang Sheng Ma Hongbin  
(Shougang Group)

**Abstract** The paper summarizes the practice on re-startup of Shougang No. 2 BF after 99 day shutdown. Thanks to sufficient preparation for startup, improved furnace operation and cast house tapping, this blast furnace operation condition reconverts rapidly.

**Key words** blast furnace startup operation system

首钢2号高炉( $1780\text{m}^3$ )2002年5月开炉投产。2008年6月3日,为了北京市2008年奥运会期间的城市环保,2号高炉采用空料线降料面方式停炉检修。2号高炉降料面至风口下沿,整个降料面过程安全、快速、环保。停炉后,炉缸死焦堆以保温剂覆盖。至9月9日,2号高炉累计停炉时间已达99天。

2008年9月9日17:28,2号高炉送风,恢复生产。在前期设备检修、炉缸清理等工作的基础上,开炉过程中出渣出铁、捅风口加风、加重焦炭负荷都非常顺利,48h后高炉炉况基本恢复至正常水平。本文旨在总结首钢2号高炉开炉过程中的成功经验,探讨高炉长时间停炉后的开炉技术,为首钢高炉以后的类似开炉提供借鉴。

#### 1 开炉的主要问题

(1)炉缸加热。2号高炉停炉60天后,炉缸炉底及侧壁炉衬热电偶温度降至常温,炉缸各段冷却壁水温差降至0℃,表明炉缸死焦堆的焦炭已降至常温,死铁层的铁水凝固后也已降至常温,炉缸整体热度已不存在。即使开炉前将炉缸铁口区以上死焦堆及残存渣铁清理干净,炉缸炉衬炭砖热面的渣铁

保护层及死铁层的加热都需要消耗热量,其在开炉过程中需要消耗多少热量及消耗热量的速度,直接牵涉到全炉总焦比的确定。2号高炉没有类似经验,因此在全炉总焦比的选择上采取“宁高勿低”的原则,待此次开炉取得经验后,再对类似开炉的全炉总焦比适当降低。

(2)出渣出铁。能否按时出渣出铁是高炉开炉技术的核心问题之一。铁水、炉渣能否顺利流出取决于以下几个方面:一是铁水的物理热、[Si]及炉渣的物理热、碱度,这由开炉料所决定;二是铁水、炉渣下降过程中流经的死焦堆的热度,这由开炉料及死焦堆受热方式所决定;三是铁水、炉渣下降至铁口区时,是否会因为热量不足造成铁水、炉渣在铁口前端凝结,这由开炉料对死铁层的加热程度所决定;四是铁口孔道大小、渣铁沟准备情况等炉前因素。因此,顺利出渣出铁的关键还在于炉内的开炉料,炉前处于辅助地位。开炉方案确定炉缸铺设枕木,北铁口埋设吹氧枪、南铁口喷吹。喷吹铁口有利于死焦堆的加热,埋设吹氧枪有利于消除在铁口区渣铁的凝结,同时开炉料配加锰矿,保证[Mn]达到0.8%。

(3)炉内顺行。开炉过程中,炉内的顺行牵涉

到加风、加重焦炭负荷。在开炉过程中,必须确保不发生管道行程、悬料等煤气分布事故,否则直接影响到开炉进程。在高炉顺行问题方面,可暂时不必过多考虑炉内中心、边缘煤气分配比例的问题,待高炉正常后再逐步调整炉内煤气分布状态。若发生管道行程会对炉内热制度等产生严重影响,造成出渣出铁困难。2号高炉以往降料面恢复过程中出现过因管道行程造成铁水物理热持续偏低,出渣出铁困难的情况,也出现过炉内悬料延缓炉况恢复进程的情况。开炉方案确定矿石装料采用三挡位布料,三挡位布料相对单挡位布料,更易于稳定煤气流分布,避免开炉过程中出现管道行程,延缓高炉恢复进程;同时,三挡位布料相对正常生产时的矿石五挡位布料又是相对集中的,为煤气上升提供了充足的通道,避免出现悬料事故。在开炉操作中,控制加风幅度,注重料尺运动,拉长加风节奏,避免煤气流分布失常影响高炉顺行。

(4)设备问题。高炉长期停炉,热风炉、高炉、煤气等各系统设备降至常温,必然随之出现收缩。高炉送风后,各系统设备必然面临温度、压力恢复到生产水平,高炉设备安然度过升温、膨胀环节是安全开炉的一项重要内容。同时,高炉各阀门、仪表、自动化设备的连锁试车也是重要的内容,自动化设备数量多、结构复杂,在高炉长期停炉后,其运行的可靠程度需要检验。自动化设备的连锁试车可以在高炉烘炉、装开炉料过程中进行。同时开炉过程中对加重焦炭负荷的进程适当控制,以稳定的炉温、煤气

流分布为高炉各系统设备的升温、膨胀创造条件,同时也为一旦开炉过程中设备出现问题被迫休风、慢风等做好准备。

## 2 开炉准备

(1)设备检修。由于北京市2008年奥运会期间的环保要求及开炉日期的不确定性,2号高炉的停炉检修主要集中在开炉前的设备强化,对炉顶气密箱进行整体更换,对高炉内衬进行喷涂。进入9月,高炉设备开始在线冷态试运行,做到发现问题、解决问题,尽量在开炉前解决设备可能存在的隐患,避免高炉送风后因设备问题造成慢风、休风,影响高炉送风恢复进程。

借9月7日高炉烘炉及9月8日高炉装开炉料的机会,2号高炉对主要设备进行热态运行,对各类自动化仪表进行了校正,结果表明高炉设备强化基本达到效果。虽然发生了冷风放风阀在热态运行下发生了销轴切断的情况,但经过烘炉和高炉送风间隙之间的紧急处理,没有影响高炉送风的情况。

(2)原料准备。开炉燃料全部采用干熄焦,干熄焦高温冶金性能良好,高温反应性CRI在25%以下,反应后强度CSR在65%以上(见表1)。烧结矿为一烧车间烧结矿,球团矿为矿业公司球团矿(见表2),质量均稳定。

表1 首钢2号高炉开炉焦炭质量, %

水分	灰分	挥发分	硫	转鼓强度	鼓外<10
1.8	13.00	1.46	0.80	87.4	6.0

表2 首钢2号高炉开炉原料质量, %

项目	TFe	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	R <sub>2</sub> O	S	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	转鼓强度
烧结矿	57.01	5.28	9.86	8.26	1.87	0.013	1.98	1.47	78.81
球团矿	65.29	5.03	0.02			0.004			

(3)炉缸清理。8月7日开始,2号高炉开始清理炉缸,8月20日结束,累计清理炉缸焦炭及渣铁混合物300余吨。炉缸底部清理至死铁层,底部平面距离风口中心线4.0m,炉缸侧壁清理至仅剩原有的渣铁保护层,约0.4~0.5m厚,南北铁口都钻至底部平面与炉缸侧壁交界处,铁口孔道直径100mm,并用氧气将铁口孔道内部人口处扩大。

炉缸清理过程中发现,风口中心线至其下2.5m,炉缸内部主要为松散的焦炭,圆周炉缸炭砖上附着渣铁保护层,在渣铁保护层与焦炭之间有一

层粒度很细的焦炭粉末,其中夹杂着纯铁、炉渣。风口中心线下部2.5m至4.0m,渣铁与焦炭相互黏结在一起,成为大块黏结物。其中的渣铁主要以渣为主,含少量的铁。越靠近死铁层,焦炭的劣化程度越高,至死铁层处,焦炭已经无法分辨原有形状。风口中心线下部3m,在铁口上方开始出现泥包,泥包中夹杂着片状炉渣,南、北铁口附近残留的炉渣明显较其他位置多。

根据此次炉缸清理的经验,以后类似停炉,停风降料面的倒数第二次出铁继续采用无水炮泥堵口,

改变过去用有水炮泥堵口造成最后一次出铁铁口浅、渣铁出不净的问题。用无水炮泥堵口后,最后一次出铁可最大程度出净渣铁,对死焦堆进行沉降,减少清理炉缸的工作量,减少铁口以上残存的渣铁。清理炉缸时,铁口深度可人为控制到合适水平,这样清理炉缸的工作量将大大减轻,并且有利于在铁口内部下方清理出一定的空间,使开炉过程中铁口内部距离死铁层高出一定距离,更加有利于出渣、铁。

(4)烘炉。9月7日13:58,高炉送风烘炉,烘炉期间风量2000 m<sup>3</sup>/min。根据喷涂的要求,烘炉最高温度控制在350℃,烘炉后期废气的湿度降至大气湿度(见图1)。清理完炉缸残留物,安装好各风口中缸、小套、吹管,送风烘炉。烘炉使喷涂的耐火材料内的水分缓慢充分蒸发,有利于提高其整体强度,且在一定程度上加热高炉本体设备。

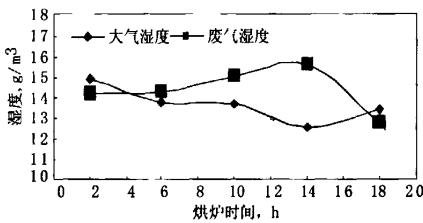


图1 首钢2号高炉烘炉过程废气湿度变化

(5)炉缸填充。炉缸底部至风口中心线下部1m全部采用枕木填充。枕木易于点燃,送风后枕木燃烧快,有利于开炉炉况顺行。同时,由于枕木的燃烧对将要落入炉缸的焦炭起到加热作用,有利于提高死焦堆焦炭的热度,加热炉缸。9月8日19:00开始,2号高炉在炉缸内码放枕木,按井字形码放,枕木间距20cm,共码放枕木900根,历时5h,实际枕木码放至风口中心线下部1.5m。

用水泥塞严风口中套与渣铁保护层的间隙,并在风口上部盖一层水泥,然后用枕木沿炉缸圆周方向将风口支护,防止加开炉料过程中砸坏风口。在码放枕木前将吹氧枪插入,在其旁边插入热电偶,通至炉缸底部中心位置。枕木码放完成后,堵实高炉开炉需要堵塞的风口,并将为码放枕木而拆除的风口中套、风口全部装回。

(6)开炉料。选择合适的开炉总焦比对开炉进程有决定性的影响。考虑到高炉开炉过程中炉缸的加热、不可预知的设备问题等,开炉选择总焦比3.32 t/t,实际全炉焦比达到4.15 t/t,2号高炉开炉过程炉料见表3。开炉料的装入从9月9日2:00开

表3 首钢2号高炉开炉料

项目	净焦 批数	空焦 批数	正常料 批数	全炉焦比 t/t	正常料焦比 kg/t
计算	28	34	18	3.32	747
实际	35	31	15	4.15	

始,持续到10:00,料线加至4m。

### 3 开炉过程

2号高炉此次开炉过程相当顺利。9月9日17:28,高炉送风点火;17:45全部风眼点亮,焦炭在风口前旋转燃烧;19:00南北料尺都活动,前期因为枕木的燃烧,料尺略有滑尺现象,2h之后料尺完全正常、均匀的下降;19:55开始回收煤气;23:00南铁口喷渣子;23:05堵南铁口;0:25北铁口吹氧枪烧毁,铁水自行流出,10min后堵上;3:05顺利在北场出第一次铁,48h后,余1个风口未堵,焦炭负荷4.0,炉况基本恢复。2号高炉开炉过程及开炉后续过程操作指标及技术经济指标见图2、3。

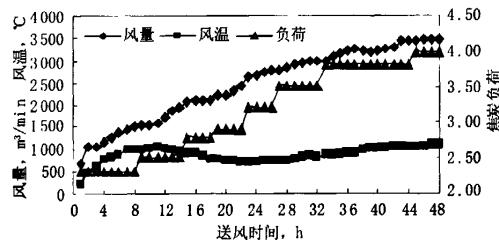


图2 首钢2号高炉开炉过程风量、风温与焦炭负荷变化

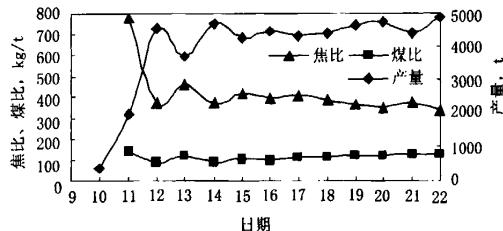


图3 首钢2号高炉开炉及后续过程生产指标变化

### 4 炉内操作

#### 4.1 送风制度

开炉堵12个风口送风,南北铁口上方各开6个风口。送风实际风速在金属料下达前未超过280 m/s,金属料下达后实际风速未超过200 m/s。送风前装料到4m料线,炉内料柱压实,煤气通道消失。送风初期,重建煤气通道,重新分布煤气流。送风后,根据料尺工作状况、炉温水平,积极、适当捅风口、加风,有利于尽快活跃整个炉缸。开炉初期,渣铁物理热一般不高,在炉况顺行的基础上尽可能提

高风温,风温给炉内带来大量热量,对提高渣铁的物理热非常重要。

开炉堵风口的数量(见表4)主要受制于炉前出渣出铁。既然出渣出铁问题通过炉内、炉前的技术配合基本得到解决,堵风口数量应该逐步减少。考虑开炉过程中因炉温偏高或设备问题等导致长期慢风,可以适量堵风口,以利于炉缸的活跃。

表4 首钢2号高炉开炉过程堵风口上风情况

时间	风口	送风风口个数	风量 $m^3/min$	风速 $m/s$
9日23:10	4、16号	14	1500	275
10日01:25	9、21号	16	1800	235
10日06:05	8、20号	18	2200	190
10日13:45	7、19号	20	2800	175
10日20:00	18号	21	3000	190
11日01:10	5号	22	3300	220
11日10:50	6号	23	3500	230
12日10:55	17号	24	3700	230

#### 4.2 装料制度

开炉过程中,矿石的装料由以前的单挡位布料改为三挡位布料  $K_{543}^{252}$ ,这是在开炉过程中做出的宝贵探索。矿石使用三挡位布料后,高炉煤气利用率得到提高(见图4)。同时矿石布料初步摊开,稳定了煤气分布,避免在开炉过程边缘煤气或中心煤气过分发展,破坏炉况顺行。开炉的过程也用事实证明了矿石布料对开炉的顺行起到了决定作用。

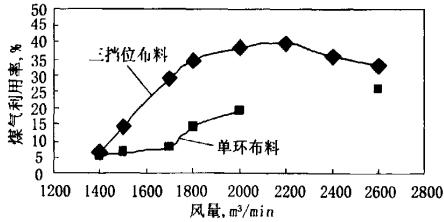


图4 首钢2号高炉开炉过程煤气利用率变化

焦炭的装料  $J_{65432}^{43222}$  与以前开炉无大的变化,但与正常生产时差别较大。以后对开炉装料制度可以做进一步的尝试,焦炭布料直接采用正常生产的焦炭平台。焦炭平台在开炉过程与正常生产过程是一样的,可以不必频繁变化焦炭平台,而采用对矿石布料的调整来达到开炉过程中敞开边缘与中心两条煤气通道的目的。认为  $K_{654}^{333} J_{8765432}^{3222111}$  是2号高炉开炉一个理想的装料制度,在开炉过程中随煤气流分布的变化,可以有效的调整矿石装料对煤气流分布进行引导,避免煤气流分布失常。2号高炉开炉过程煤气流分布见图5。

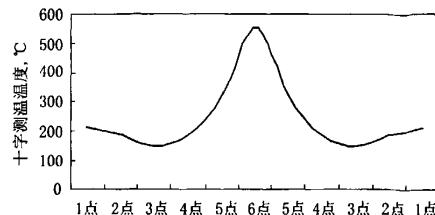


图5 首钢2号高炉开炉过程煤气分布形态

#### 4.3 热制度

从开炉过程可以看出,开炉总焦比的选择对于加热炉缸是基本合适的,开炉的焦炭补充了死铁层、炉缸、炉体温度升高所需要的巨大热量。送风8h后,顶温逐步爬升,说明高炉下部对热量的吸收进入一个稳定时期,高炉下部产生的煤气已经有条件携带足够的热量上升到炉喉位置,对顶温产生影响。第一次出铁,铁水物理热就达到1345℃,[Si]达到1.4%,也充分说明炉缸热状态在净焦、空焦的作用下被提升到了正常工作所需要的水平,而铁水物理热真正决定渣铁热含量和流动性,因此这也给顺利出渣出铁奠定了基础。2号高炉开炉过程中铁水热度变化见图6。

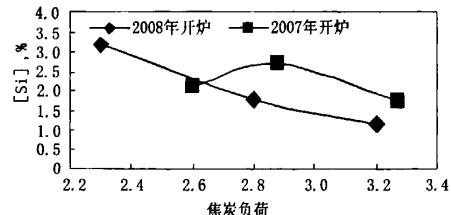


图6 首钢2号高炉开炉过程铁水热度变化

正常料的焦比是偏高的,结果造成正常料完全作用后,炉温水平偏高,[Si]达到3.61%,铁水流动性变差,对炉前出铁造成一定困难。类似开炉对正常料的焦比可以适当降低,并且在恢复过程中对焦炭负荷的调整可以更加紧凑,在出铁顺畅后以较大的幅度降低焦比,这也能够减轻炉前的劳动强度,使高炉迅速达到良好运行状态。

考虑到开炉过程中风温先提至1050℃,后降至900℃,正常料作用后,风温又降至700℃,说明开炉总焦比可以在原有基础上适当降低,正常料的焦比也有必要进一步降低。

开炉料中在空焦夹入2批正常料,这使铁水能够及早生成、及早下降到铁口区,铁水凝固点低,可更加有效地对炉缸底部、铁口区加热。类似开炉可以继续采用此种空焦中夹入正常料的措施,甚至在

高炉炉身部位可以按自下而上焦炭负荷逐步降低的原则,分段装入空焦与正常料的组合料。另外也可用烧结矿替代石灰石,在高炉炉身下部以净焦与烧结矿组成组合料,这可以减少无谓的石灰石的分解耗热,又达到了使铁水尽早生成、尽早下降到铁口区的目的。

#### 4.4 炉缸状态

9月9日开炉,开炉后炉缸炉衬温度逐步上升,开炉24 h后水温差0.1℃,开炉5天后,炉缸炉衬温度进入平稳期(见图7)。这表明炉缸炭砖前的渣皮厚度进入相对稳定期,表明炉缸温度场稳定,炉缸内部渣铁保护层虽然偏厚,但不能认为炉缸工作不够活跃,随着高炉强化程度的提高,渣铁保护层会进一步变薄,炉缸温度场会发生进一步的变化。

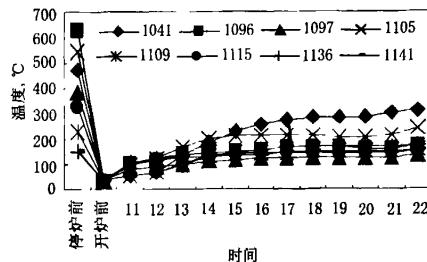


图7 首钢2号高炉开炉过程炉缸炉衬热电偶温度变化

#### 4.5 操作控制

高炉开炉过程,炉内操作方面特别强调加风要在压量关系平稳、料速与风量相适应的情况下进行。压量关系不稳定适当减风适应,避免悬料和管道行程,延缓炉况恢复进程。加风幅度要小、加风间隔要长,加风选择在出铁后期,捅开风口,要待风口前焦炭彻底活跃之后再进行加风。炉内操作精细,也为开炉的顺利提供了保障。

#### 4.6 稳定阶段

炉前出渣、铁顺利后,炉内抓住时机,开风口,加重焦炭负荷,将高风温、喷煤用上。但长期停炉,高炉各系统设备完全处于常温常压状态,开炉后由常温常压过渡到高温高压,各系统设备需要一定的时间,也无法确定在这一过程中设备是否会出现问题。所以必须在这一时间段内高炉保持良好的状态,顺行稳定、炉温充足,以预备处理随时可能发生的设备问题。在炉况恢复到焦炭负荷4.0后,炉内各项制度稳定110 h,至9月16日,炉温维持在[Si]为0.6%、物理热1510℃,高炉各系统设备顺利度过了由常温常压到高温高压的过程,没有发生设备问题。

2号高炉开炉过程炉腹六段、七段冷却壁后温度变化见图8。

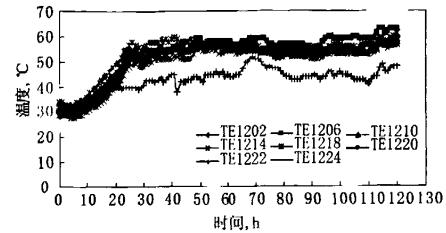


图8 首钢2号高炉开炉过程炉腹六段、七段冷却壁后温度变化

#### 5 炉前出铁

开炉期间炉内决定着炉外出铁、铁水、炉渣的流动能力决定了炉前出铁的难度,炉前出铁反过来又制约着炉内恢复的进程。炉前出铁建立以炉内控制为主、炉外配合为辅的原则,开炉过程中南场喷吹铁口,北场埋入吹氧枪,且因为北场渣沟短、易清理,开炉前三次铁都安排在北场出。

炉内针对出铁,特别控制[Si]、[Mn]、物理热及炉渣物理热、碱度。通过装料制度的改变,铁水物理热水平较以前提高,铁水物理热基本在1300℃以上,保证了铁水的流动性,开炉第二次铁开始冲水渣。从实际效果看,[Si]出现过高的情况,[Si]超过2.5%以后,虽然有超过1.0%的[Mn],但铁水流动力变差,炉渣碱度控制在1.0~1.1,炉渣的流动能力良好,渣沟基本不需要清理。

炉外对出铁的控制体现在铁口直径、埋设吹氧枪、喷吹铁口等方面,喷吹铁口,将风口带生成的高温煤气引至炉缸底部,将炉缸焦炭加热,为铁水、炉渣的向下渗透创造了物理条件。南场见渣后堵口,说明风口带以上燃烧产生的炉渣已经顺利下降到铁口,这也从侧面说明整个炉缸的焦炭已经被加热到需要的水平。埋设吹氧枪,先期通入压缩风,送风枕木点燃后,高温煤气已经产生,通入氧气,事先埋设的经过北铁口插至炉缸底部中心的高温热电偶在送风2 h后被烧断,说明吹氧枪前端的温度已经上升到较高水平,炉缸底部的热状态回升的很快。0:25空焦中夹入的正常料一生成铁水,铁水即顺利的下降到炉缸底部,烧坏吹氧枪后流出。

开炉过程全部采用无水炮泥。事实证明开口机的能力能够保证顺利打开铁口,并且在出铁过程中有效避免了跑大流等炉前事故,开炉过程中铁口深度稳定在2.4m。适当控制头几次铁的出铁节奏,出铁间隔时间相对长一些,使炉缸内铁口区域积存的

渣铁尽量多,这不仅有利于铁后料柱能很快松动,改善顺行,而且可使铁流变大,出铁顺畅,减轻炉前劳

动强度。2号高炉开炉过程出铁情况见表5。

表5 首钢2号高炉开炉过程炉前出铁情况

铁次	出铁场	2006年开炉物理热 ℃	铁水			炉渣		备注
			物理热,℃	[Si],%	[Mn],%	R	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,%	
1	北	1345	1.4			0.99	17.27	
2	北	1158	1293	1.74		1.00	16.54	冲水渣
3	北	1299	1311	1.78		0.96	14.56	
4	南	1196	1350	2.62	1.05	1.14	18.37	
5	南	1258	1400	3.58	1.16	1.09	16.11	铁水流动性差
6	南	1320	1413	3.61	1.06	1.16	16.61	铁水流动性差

## 6 结语

首钢2号高炉2008年6月3日空料线降料面停炉,累计停炉99天,9月9日送风恢复生产,开炉过程顺利,送风48h后炉况基本恢复正常。主要有以下几个方面的经验:

(1)高炉开炉前充分、严密的技术研讨为顺利开炉奠定了技术基础,设备检修、炉缸清理、原燃料准备、炉内喷涂造衬等为顺利开炉奠定了物质基础,超前的开炉准备工作使开炉过程按事先的预想顺利、平稳地进行。

(2)枕木填充炉缸,喷吹铁口与埋设铁口吹氧枪结合,全炉总焦比维持适当高的水平,短时间内将炉缸热度提高至正常生产水平,为铁水、炉渣顺利穿过炉缸死焦堆下降到铁口区提供了基础。

(3)矿石由单挡位布料转变到三挡位布料。一方面提高了煤气利用率,提高了炉内总体热度水平,另一方面使高炉边缘煤气与中心煤气流合理分布,避免了管道行程、悬料等煤气流分布失常事故,实现了开炉过程中高炉的顺行。

(4)在开炉料已经将炉缸热状态提高至正常水平的条件下,正常料可以继续降低焦比,避免因[Si]

过高影响铁水流动性,对炉前出铁造成困难,同时可以提高风温使用水平,给炉内带去更多的热量。

(5)炉缸炉衬热电偶温度变化可以说明炉缸温度场的变化,热电偶温度进入平稳期说明炉缸工作进入一个相对平稳期,不必过多担心其数值的高低。随着高炉的强化程度,炉缸温度场会发生变化。

(6)炉内主动调整[Si]、[Mn]、物理热及炉渣物理热、碱度,为铁水、炉渣创造良好的流动性是顺利出渣出铁的关键。炉前喷吹铁口与埋设吹氧枪结合,加热了铁水、炉渣的下降通道,促使铁水、炉渣顺利排出,开炉过程采用无水炮泥堵口,减少了跑大流等炉前事故,稳定了铁口深度。

(7)随着对高炉开炉经验的积累,有必要对高炉开炉准备、开炉过程及后续加重焦炭负荷的技术操作进一步定量化、数据化,建立首钢高炉开炉成套操作技术。

联系人:马洪斌 工程师 电话:010-88293487

E-mail:mahbin@126.com

(100041)北京市石景山区首钢总公司炼铁厂

收稿日期:2008-10-22

## 中国金属学会2009年炼铁学术会议会议预告

(1) 第五届国际炼铁科技大会(ICSTI09)	时间:10月	地点:上海	联系人:王维兴(010-6513322-1623)
(2) 第七届(2009)中国钢铁年会	时间:11月	地点:北京	联系人:倪伟明 高斌 罗光敏 (010-65133925)
(3) 烧结节能减排生产技术交流会	时间:8月	地点:待定	联系人:王维兴 顾飞 (010-6513322-1623,010-84857738)
(4) 炼铁原料学术年会	时间:6月	地点:日照	联系人:冯根生(010-62332515)
(5) 大高炉学术年会	时间:待定	地点:待定	联系人:王胜(010-88295902)
(6) 中小高炉学术年会	时间:待定	地点:待定	联系人:况百梁(0790-6292789)

(详见中国金属学会网站:www.csm.org.cn)