

# 高炉喷补后的炉况恢复

张卫东

(首钢集团总公司)

**摘要** 高炉炉衬喷补修复技术是近年来发展起来的具有实用价值的新技术。根据首钢已进行的30余次喷补后炉况恢复经验,对炉况一次快速恢复成功,喷涂后反弹料的造渣、出渣、出铁等问题进行了研讨。高炉炉衬喷补修复技术的关键是控制好整个恢复期的炉温变化和配合好炉内外工作。

**关键词** 喷补 反弹料 造渣 热平衡 炉况恢复①

## BF OPERATION AFTER GUNNING THE INNER LINING

ZHANG Weidong

(Shougang Group Corp.)

**ABSTRACT** The repair of inner lining of blast furnace by gunning is a new valuable technique developed in recently years. The main problems encountered in the recovery process of blast furnace after gunning, such as once rapid recovery, slag of remained gunning materials, slag and hot metal output etc. are discussed based on the experience of more than 30 times of gunning repairing. It is suggested that the key is to control temperature in BF properly and to gain a good term work.

**KEY WORDS** gunning, reflecting material, slag forming, heat balance, recovery

高炉炉衬喷补修复技术是近几年在国内发展起来的一项很有实用价值的技术。这项技术对于中后期炉役的炉体水箱保护和无冷却区炉型的修补,都具有较高的实用价值。首钢从1995年12月开始至今已进行了30次喷补,从使用喷补料30t的局部小修补至420t的全炉造衬。总的看,能保持一年左右的使用寿命,喷补前后冶炼指标改进明显,一般短期内即可收回投资,起到了改善炉况、改进生产指标、延长炉体寿命的效果。

### 1 高炉停炉、喷补技术要求

根据喷补量的大小,高炉停炉方式也有较大的不同,总的来说有如下3种方式(以2500m<sup>3</sup>高炉为例):

(1) 修补无冷却区及炉喉钢砖区,一般停风料线以露出炉身最上一层水箱为准,喷补量50t左右,反弹料量约5~10t(实际反弹率约15%),作业时间24h以内;

(2) 修补炉身,一般停风料面位于炉腰中部至

炉腹上沿,喷补量200t左右,反弹量约20t以上,停风时间3天以上;

(3) 修补炉体,停风料面至风口带,自炉腹以上均进行喷补,喷补量达300t以上,停风时间较长。

不论哪种方式的热喷补,停风之前均应做到:炉况顺行,炉温充沛;渣铁流动性好,出净渣铁;炉体干净,无局部粘结,力争全开风口作业,保持周向工作均匀,必要时需进行一定时间的洗炉作业;严格控制冷却器不向炉内漏水;降料面过程中,炉顶降温水控制量合理,打水均匀,不形成炉内较大死料堆;降料线过程计算正确,实际操作控制良好,停风料线位置准确。

喷补时做到:① 炉体需喷补部位残余物清理干净;② 喷补料质量与所补部位配合合理;③ 炉内及炉体温度合适;④ 喷补均匀,过渡平滑,内型规整;⑤ 喷补机工况调整正常,喷补反弹量少;⑥ 为保持喷补料的寿命,在喷补前应尽可能对坏水箱进行修复,以强化冷却。

完成喷补后开炉一次顺利恢复,有利于延长炉体喷涂料的寿命,而炉况的反复很可能造成喷涂料的局部或大面积脱落。因此,掌握炉体热喷补的技术

特点,并快速、顺利、安全地一次恢复成功,可以大大减少损失和延长一次喷补的寿命,经济价值十分巨大,有代表性的喷涂情况如表1所示。

表1 有代表性的喷涂基本情况表

Table 1 Basic conditions on several typical gunning jobs

高炉	容积/m <sup>3</sup>	检修时间	停风时间/d	喷补量/t	喷补部位	料线位置
四炉	2100	1996-05-16	10	420	炉腹以上	风口带
二炉	1726	1996-11-01	7	300	炉腹以上	风口带
三炉	2536	1997-05-23	3	241	炉身	炉腰中部
一炉	2536	1997-10-24	3	25	炉喉下沿	料线7 m
三炉	2536	1998-05-23	9	210	炉身	炉腰中部
五炉	1036	1998-07-15	31	320	炉缸以上	风口带
一炉	2536	1999-11-26	2	260	炉身	炉腰中部
三炉	2536	2000-02-28	2	95	无冷却区	炉身中部
四炉	2100	2000-07-29	6	220	炉身	炉腰上沿
一炉	2536	2000-02-19	9	325	炉腹以上	风口带

大型高炉停风降料面到风口带的喷补,反弹料可全部人工扒出,并在送风前进行适当的烘炉。送风需要处理的主要问题是炉内严重亏热。对于不降到风口带的喷补,反弹料的影响很大。

## 2 恢复炉况的主要问题

### 2.1 出渣出铁

因停风时间较长,炉缸温度下降较多,出渣出铁问题应引起足够重视。应保持铁口与风口的沟通,使熔化的渣铁顺利从铁口排出。影响风口、铁口沟通的主要问题是风口、铁口间的焦炭床层中夹有大量的渣、铁熔融物,时间长了以后有凝固趋势和长时间停风后焦炭碎裂形成的焦粉焦粒充填其中,影响炉缸焦炭层的透气、透液性。1998年7月五高炉停炉31天,喷补炉衬及检修(风机故障),其处理方法是在炉内铁口至渣口区域挖出一道长5 m、宽约2 m、深2 m的沟,用于沟通风、渣、铁口。

在停风位置较高,扒料有困难时,一般只好采用铁口放炮的方法进行沟通或从渣口出铁(有渣口的高炉),这些做法很不安全,对渣铁口区域的砖衬及冷却器危害很大。

目前,较合理的做法是将铁口钻入一定深度后,埋入一支氧枪,枪内用氧、压缩风混合喷入,在铁口区形成一个高温区,同时高温煤气向上导热,熔化、还原渣铁半凝物,并形成空间,加速料层运动,多次使用已证明,对沟通铁口效果很好。同时,应注意:  
①合理确定氧枪插入深度;②确保氧、压缩风喷入后能点着火;③合理控制氧、风比例;④需专人看护,注意安全。

三方数据

### 2.2 反弹料

反弹料的成分:SiO<sub>2</sub>为25%~45%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为50%~70%,密度为2.0 t/m<sup>3</sup>,熔点>1700℃。喷补时不同部位用料不同,反弹料性质也不同。因反弹料是高铝、高硅、高熔点物质,在炉内温度条件下很难熔化,对于喷补量大的高炉,反弹料可达20 t以上或更多,在料面上形成硬块或硬壳,极大地影响高炉透气透液性,影响冶炼过程。若集中到风口带熔化,会极大地影响风口区作业,形成窝渣、灌渣、烧出等现象。解决这个问题应从造渣制度入手,根据反弹料性质,形成较合理的渣型,在较低温度下就可形成熔渣,从而大大缓解炉缸压力。具体做法是停风后加入一定量干水渣压火,同时起稀释作用,喷涂后根据反弹量,集中加一定量萤石、灰石、焦炭。这样形成一个两头是焦炭、中心是干水渣、反弹料、萤石、灰石的料层,其加入量以R<sub>2</sub>=1.0,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>≤20%,CaF<sub>2</sub>约为5%~10%的比例进行核算,这样形成的渣型可顺利地在较低温度下进行造渣反应,形成流动性良好的渣子。

### 2.3 开风口个数

一方面风口个数开得多,风量相对大,可提供较高的风温。风量大,使用顶压相对高,冶炼强度高,换料速度快,有利于快速恢复炉况。另一方面,风量大以后,在反弹料未下达之前,管道行程严重,易形成局部风口窝渣,炉凉。再者,熔化渣铁量大,增大炉缸负担,对出渣出铁要求高,同时炉缸不活跃,距风口远的地方,熔化的渣铁不能充分从铁口排出,易引起烧出。因此应根据实际情况确定,尽可能多地开风口个数。1996年5月第一次在四高炉进行较大量喷补后,开炉时仅开了四个风口,风量很小,恢复进度慢。

经过摸索,喷补后的炉况恢复使用的风口数逐步增多,达到合理数目。同时风口应集中开,集中堵。若有间隔吹开的风口,在可能停风的情况下,应尽可能停风重新堵上。或者将中间间隔的风口捅开以连成一片。否则,单吹开的风口前熔化的渣铁很难从铁口排出,极易引起烧出,形成事故。1997年10月,一高炉停炉80 h,喷涂量仅25 t,反弹量约10 t。开炉时,堵16个风口恢复炉况,其中16、17、19、20号堵,而18号风口送风,形成死区,导致18号风口严重烧出,被迫停风处理,影响恢复进程,损失很大。

## 2.4 双出铁场出铁

对于 $1000\text{ m}^3$ 级及以下高炉一般只有一个出铁场。炉缸直径小,面积小,使用6~8个风口送风。风口数一般占总风口数50%左右,起点高,恢复进度较快。如1998年4月五高炉( $1036\text{ m}^3$ ,15个风口)停风,使用喷补料100 t,开6个风口送风恢复,40 h炉况就恢复正常水平。而对于 $2500\text{ m}^3$ 级高炉,风口数达25~30个,炉缸直径大,面积大,一般设有2~3个铁口。若仅用一个铁口,而使用50%左右的风口作业,即开12~15个风口作业,远离铁口的风口处熔化的渣铁很难从铁口充分出净,影响风口工作。炉缸状况将直接影响整个恢复进度是否能安全顺利地进行。少开风口,出渣出铁可得到保证,但起步风量很小,风温很低,大大影响恢复进度。若使用双出铁场出铁,相对地多开风口,则这个问题可以妥善解决。送风初期,风量相对大很多,风温也提高很多,极大地加快了恢复进度。但送风初期,渣铁物理热低,流动性差,相对劳动强度大,应组织足够的人力、物力,以确保双场出铁的炉外安全。

## 2.5 开炉初期的热平衡及煤气利用

开炉初期需解决的主要矛盾是炉内物料热量的严重不足。长时间停炉及空料线所造成的大量热量损失,需在开炉初期的短时间内补足。开炉初期的热量来源主要有风温,焦炭燃烧,煤气利用率,喷吹燃料。在开炉初期热量严重不足时,应尽可能保持较高风温。

(1) 风温。风量过小时,冷风经过热风炉格子砖孔速度很小,风与格子砖的换热效果很差,风温水平很低,且风量越小,此趋势越明显。如一高炉( $2536\text{ m}^3$ ,30个风口)开8个风口时,风温只能达700℃左右(扣除刚送风时热风管道凉的影响),而开到15个以上风口时,风温可达到900℃以上。补偿的办法只能是在送风前将热风炉顶温烧全,以此获得相对较高的风温,但效果很小。且长时间小风量送风,易破

坏热风炉热平衡,造成拱顶温度低而烟道温度高的现象,严重影响热风炉的正常操作。在没有焦炉煤气的情况下,也很难维持较长时间的这种操作。

(2) 焦炭燃烧产生的热量是主要的。开炉时加入了大量的空焦和净焦,应注意选用合理的焦炭负荷。

(3) 开炉初期,因炉内有大量焦炭,矿石量少,同时炉料温度很低,煤气的热能利用很充分,而化学能利用很差。提高化学能的利用就应确保料尺工作,保持炉料的层状分布,消除偏尺及局部管道。对于大高炉较好和实用的办法就是双场出铁。单场出铁时只在铁口附近局部开风口,一般以出铁口对称,向两边开。在整个炉缸断面上,煤气发生源只有一个很小的局部( $1/5\sim 1/4$ ),周向工作无从谈起,煤气一次分布的严重不合理,会造成严重的管道行程,煤气利用很差。还会因此出现严重的偏尺,极大影响炉料的层状分布,常常只能用多次的偏布料来解决,同时焦炭负荷退到很轻,以补偿热量不足。而双场出铁,煤气发生源变成两个,冶炼区域增大一倍,可大大缓解断面煤气分布的不合理,而且可大大缩短恢复进程。太钢 $1350\text{ m}^3$ 高炉有过尝试,效果很好。马钢 $2545\text{ m}^3$ 高炉2000年12月停风,16天喷补恢复也使用了两个铁口,开炉约3个班,炉况已基本顺行。

(4) 富氧和喷煤问题。开炉初期的主要矛盾是解决炉缸的“凉”的问题,风口区域应保持较高的火焰温度和提供尽可能多的热量。开炉初期,因风量限制,风温不可能很高,风压也很低。在喷煤设备可行的条件下应尽可能喷煤,以增加局部的热量供给,同时富一些氧。即:尽量使用高风温,在风口工作良好的前提下,尽可能喷入较多的煤粉,同时富氧。应控制适当的理论燃烧温度,以消化煤粉、保持风口前回旋区良好的工作状态。在炉况开始恢复阶段,风口工况极不稳定,应加强巡检,确保安全。

(5) 炉缸加热问题。由风口进入炉内的热量,传热方向是随煤气向上传热,而向风口以下的炉缸传热,则主要是靠熔化的渣铁及喷吹铁口。对于大型高炉,铁口孔道深,喷吹铁口效果有限。若靠熔化的渣铁加热炉缸,则易影响渣铁流动性。使用如上所述的氧枪,则可直接在炉缸底部形成一个高温区,直接加热炉缸,在改善炉缸热状态下具有重要的实际意义。

## 2.6 炉温

炉温问题是高炉喷补后炉况恢复的中心问题。开炉初期,整个的炉体、炉内的炉料均处于低温状态,炉缸也严重亏热。就恢复过程而言,有一定的规

律。经多次总结,如图1所示。

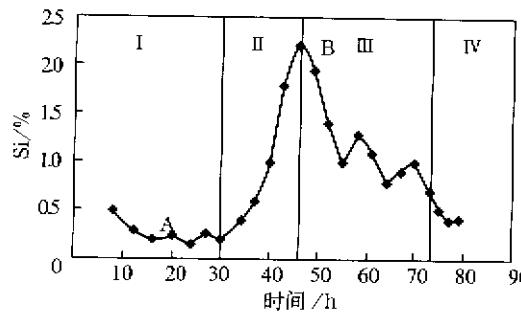


图1 恢复过程示意图

Fig. 1 Diagram of the recovery process

整个恢复进程可分为四个阶段:

(1) I段,由开始送风至炉温最低点A点。这一段时间出的渣铁,为停风时的存留物,还原反应充分,Si较高,但物理热很低,温度在1200~1300℃,严重时出铁不出渣,渣铁流动性很差。且Si有明显下行趋势。该过程反弹料逐步作用,气流不稳定,应严格控制压差及压量关系。但对停风到风口带的炉况恢复,无反弹料影响,该过程可大大缩短。

(2) II段,炉料逐步加热,料柱温度上升,金属料逐步下达,Si处于下限,渣铁物理热逐步改善,流动性趋于良好。随着热量的积蓄,铁水温度提高,Si有大幅度反弹现象。此时应做好综合判断,控制恢复节奏,逐步捅开风口,提高风量水平。

(3) III段,炉温反弹到最高点B点后,因后续重负荷料作用,炉温发生自然降温,操作上应加强控制,防止炉温下跌过大。同时,渣铁物理热充沛,应及时调整基本制度,确认炉缸工作状况,加重焦炭负荷,进行喷煤。

(4) IV段,炉温趋势平稳,在正常操作规范内,炉况进入较重负荷期,可根据实际情况及时调整炉况,进入正常生产。

据以上规律,应采取所有操作手段,尽量提高A点的水平,使生铁质量尽快达标。降低B点的水平,防止炉子过热引起其他问题。同时,缩短I、II、III段的时间,以将恢复炉况时间压缩到最短。

## 2.7 送风制度的选择

开炉初期,送风风口少,全焦冶炼,送风制度较正常生产时差别很大。如何选择送风制度是个关键问题,选择好送风制度是为了得到最合理的煤气一次分布,以尽可能地活跃炉缸工作。实际操作中,就是根据冶炼条件获得合理和有利的实际风速和鼓风动能,形成风口前合理的回旋区。对于大量堵风口的

高炉,其送风制度特点与全开风口时有根本不同。鼓风动能和实际风速是体现炉缸煤气流一次分布的两个重要参数。

$$v = \frac{P_0 Q (T + 273)}{N S \times 60 \times 273 (P + P_0)} = \frac{P_0}{16830 S} \frac{Q}{N} \frac{T + 273}{P + P_0} \quad (1)$$

$$E = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2\gamma} \cdot \frac{Q}{N} \cdot v^2 \quad (2)$$

$$P = P_d + \Delta P \quad (3)$$

式中  $E$ —鼓风动能,kg·m/s;

$v$ —实际风速,m/s;

$P$ —表值热风压力,kg/cm<sup>2</sup>;

$Q$ —标态冷风流量,m<sup>3</sup>/min;

$S$ —送风风口平均面积,m<sup>2</sup>;

$N$ —送风风口个数;

$T$ —热风温度,℃;

$P_d$ —炉顶煤气压力,kg/cm<sup>2</sup>;

$\Delta P$ —料柱全压差,kg/cm<sup>2</sup>。

$\gamma, P_0$ 分别为标态空气密度,标准大气压,均为常数。

由式(1),当堵风口多时,风机送入的绝对风量小,风压很低,则为保证实际风速 $v$ 不过高,应有较低的 $Q/N$ ,即:单风口进风量较正常时小很多。

由式(2),当保持 $v$ 不过高时,因 $Q/N$ 很小,则 $E$ 较正常时低很多。

事实证明,当 $v$ 过高时,而 $E$ 没有超出正常,仍可造成风口回旋区畸变,从而烧损风口、中缸等冷却器。特别当炉况热行时,更应严格控制。

由式(3), $\Delta P$ 决定于装料制度、炉缸工况、反弹料的造渣反应及炉温水平和趋势等影响料柱透气性的因素。为保持 $v$ 不超标,同时尽可能加快换料进程,应维持较高的 $P$ ,从而获得相对较大的 $Q$ 。因此,在严格控制全压差,确保料尺自由活动的前提下,应尽可能使用较高顶压。

## 2.8 开炉料选用,装炉原则及装料制度

开炉料应选用冶金性能良好及筛分整粒良好的炉料。配料计算时应注意炉渣成分变化。装料时,对于停风到风口带区域的深料线充填炉料时,经计算,炉料不可能冲击到炉身上,但可能冲击炉腹区域。若布料角度较大,则只能冲击到炉喉钢瓦,并反弹入炉内。因此,在充填料时,较合理的充填方式是充填炉腰及以下区域用较大角度,以炉料撞上钢瓦后弹入炉内,以自然堆角充填风口带及以上炉腹、炉腰边缘

区域。充填到炉腰以上时,采用小角度布料,达4m料线以上时,用计算机系统进行自动补偿加料到正常料线。

#### 装料制度选定原则:

(1) 据停风位置不同和喷涂及检修情况,应加入足够量的附加焦;

(2) 考虑造渣制度的选择;

(3) 装炉料的焦炭负荷选择合适并逐步加重,具体量视实际情况而定,应注意全炉焦比的变化,因装入料中矿量很小,因此增减一批料对全炉焦比影响较大,而对实际操作影响较小,因此全炉焦比的意义不大。

(4) 装入角度应以能与矿批匹配而获得双峰式煤气的装料角度为准;

(5) 注意后续料的变料时机和标准。

#### 2.9 实际操作

(1) 送风初期,应根据实际送风风口个数严格控制好风量水平,顶压水平,切忌盲目加风。尽量维持料尺自由活动。

(2) 根据风口状况及时排渣、排铁,初期渣铁均是炉内残留物,物理热低,渣铁分离困难,应有适当的应对方法。

(3) 因反弹料影响,气流管道行程严重,应控制

风量、风压,以小风量,低风压适应。同时,加强巡检,防止烧出。

(4) 反弹料过后,炉内气流分布状况改善,同时轻负荷逐渐下达,炉缸热储备增加,炉温有大幅反弹趋势,这时应掌握好时机,及时依次捅开风口。该过程控制应以炉缸工作状况的变化为标准,需兼顾渣铁物理热的水平和趋势变化。

(5) 根据炉温水平及时调整好后续料的焦炭负荷,同时校对好炉渣碱度。

#### 3 结语

(1) 喷涂后高炉的一次快速恢复成功,有利于延长喷涂寿命和取得很好的经济效益。

(2) 喷涂后恢复应注意处理好反弹料的造渣问题,使其尽早进行造渣反应,以消除其对煤气分布的影响。

(3) 出渣出铁问题是长时间停风检修(喷补)的重要问题,可采用埋设氧枪和双场出铁的方法。

(4) 大量堵风口恢复的高炉,送风制度应以实际风速而不是鼓风动能为标准来控制。

(5) 控制好整个恢复期的炉温变化过程和掌握其规律是中心环节;平衡好炉内外的关系是决定炉况快速恢复的关键。

~~~~~  
(上接第 49 页)

#### 参 考 文 献

- 1 余伟.N80石油套管生产工艺发展.轧钢,1994,(5):40~43.
- 2 余伟.N80石油套管在线常化生产可行性研究:[硕士学位论文].北京:北京科技大学,1993.
- 3 Pussegoda L N. Effect of Intermediate Cooling on Grain Refinement and Precipitation During Rolling of Seamless Tubes. Material Science and Technology,1991,37(2):129~136.
- 4 Pussegoda L N. Laboratory Simulation of Seamless Tube Piercing and Rolling Using Dynamic Recrystallization Schedules. Metallurgical Transactions A,1990,21A(1):153~164.
- 5 George, Ruddle E. Pilot-scale Development of Ti-V-N Microalloy Steels for Seamless Tubular Products. 1990 Mechanical Working and Steel Processing Proceedings,375~390.
- 6 王有铭.钢材的控制轧制和控制冷却.北京:冶金工业出版社,1995,51~59.