

# 高炉喷补后的炉况恢复

张卫东

(首钢集团)

**摘要:**高炉炉衬热喷补技术是近年来发展起来的很有实用价值的新技术。根据首钢已进行的 20 余次喷补后炉况恢复经验,对炉况恢复所遇到的主要问题进行了讨论。

**关键词:**喷补 操作 高炉 恢复

高炉炉衬热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区炉型的修补,都具有较高的实用价值。首钢从 95 年 12 月开始至今已进行了 20 余次大大小小的喷补,使用喷补料从 30 吨至 420 吨不等。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,一般一、二个月即可收回投资,起到了改善炉况、改进生产指标、延长炉体寿命的效果。

根据喷补量的大小,高炉停炉方式也有较大的不同,总的来说有如下三种方式(2500M<sup>3</sup> 的高炉为例):

1. 修补无冷区及炉喉钢瓦区:一般停风料线以露出炉身最上一层水箱为准,喷补量 50 吨左右,反弹料量约 5-10 吨(实际反弹率约 15%),作业时间 24 小时以内。

2. 修补炉身:一般停风料面位于腰中部至炉腹上沿,喷补量 200 吨左右,反弹量约 20 吨以上,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 300 吨以上,停风时间较长。

不论哪种方式的热吨补,停风之前均应做到:

1. 炉况顺行,炉温充沛。
2. 渣铁流动性好,出净渣铁。
3. 炉体干净,无局部粘结,力争全开风口,保持周向工作均匀,必要时进行一定时间的洗炉作业。
4. 严格控制冷却器不向炉内漏水。
5. 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。

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。

几次有代表性的喷涂基本情况表

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,反弹料影响很大。下面就恢复炉况中的几个主要问题进行讨论。

## 1. 出渣出铁问题

| 高炉 | 容积 m <sup>3</sup> | 喷补时间     | 停风天 | 喷补量吨 | 喷补部位  | 料线位置 |
|----|-------------------|----------|-----|------|-------|------|
| 四炉 | 2100              | 96.5.16  | 10  | 420  | 炉腹及以上 | 风口带  |
| 二炉 | 1726              | 96.11.1  | 7   | 300  | 炉腹及以上 | 风口带  |
| 三炉 | 2536              | 97.5.23  | 3   | 241  | 炉身    | 炉腰中部 |
| 四炉 | 2100              | 97.1.25  | 3   | 200  | 炉身    | 炉腰中部 |
| 一炉 | 2536              | 97.10.24 | 3   | 25   | 炉喉下沿  | 料线7米 |
| 二炉 | 1736              | 98.2.22  | 2   | 210  | 炉身    | 炉腰中部 |
| 三炉 | 2536              | 98.5.23  | 9   | 210  | 炉身    | 炉腰中部 |
| 五炉 | 1036              | 98.7.15  | 31  | 320  | 炉腹及以上 | 风口带  |

因停风时间较长,炉缸温度下降较多,出渣出铁问题应引起重视。应保持铁口与风口的沟通,使溶化的渣铁顺利从铁口排出。影响风、铁口沟通的主要问题是风、铁口间的焦炭床层中夹有大量的渣、铁融熔物,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,影响焦炭层的透气、透液性。98年7月五高炉停炉31天(因风机故障进行喷补炉衬及检修),其处理方法是在炉内铁口至渣口区域挖出一道长5米、宽约2米、深2米的沟,用于沟通风、渣、铁口,从炉内清理出的渣、铁、焦混合物可证明以上观点。其他厂中修高炉时也有类似经验。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或从渣口出铁(有渣口的高炉),这种做法很不安全。

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,枪内有氧、压缩风混合喷入,在铁口区形成一个小的高温区,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)加入氧枪后合理控制氧、风比例;(2)需专人看炉,注意安全。

## 2. 反弹料的问题

反弹料的成分:SiO<sub>2</sub>:25~45%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:50~70%, 密度:2.0t/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吨以上或更多,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:停风前加入一定量的附加焦,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。

## 3. 开风口个数问题。

一方面风口个数开的多,风量相对大,可提供较高的风温,特别是堵风口多时更明显。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,尽可能多的开风口个数。96年5月第一次在四高炉进行较大量喷补后,开炉时便开了四个风口,风量很小,恢复进度慢。尔后,喷补后的炉况恢复基本使用6~8个风口。同时风口应集中开,集中堵。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,单吹开的风口熔化的渣铁很难从铁口排出,极易引起烧出,形成事故。97年10月,一高炉停炉80小时,喷涂量仅25吨,反弹量约10吨。开炉时,堵16个风口,其中16#、17#、19#、20#堵,仅18#风口送风,形成死区,导致18#风口严重烧出,停风处理,影响恢复进程,损失很大。

## 4. 双场出铁问题。

对于1000m<sup>3</sup>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 98 年 4 月五高炉(1036M<sup>3</sup>,15 个风口)停风,使用喷补料 100 吨,开 6 个风口送风恢复,40 小时炉况就恢复正常水平。

而对于 2500M<sup>3</sup> 级高炉,风口数达 25~30 个,炉缸直径大,面积大,若用一个铁口,而使用 50% 左右的风口作业,即开 12~15 个风口作业,则难度较大。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。而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。少开风口,如使用 6~8 个风口,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。若使用双场出铁,则这个问题可较妥善解决。如南、北场出铁,对应的各开 6~8 个风口,因送风初期,渣铁量很小,出铁间隔时间较长,铁罐调配(南、北场共用两条一头堵的铁线)时,错开出铁时间和过渡铁线,完全可以调配开。这样,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。

#### 5. 开炉初期的热平衡及煤气利用问题。

开炉初期需解决的主要矛盾是热源的严重不足。长时间停炉,空料线,所造成的大量热量损失,需在开炉初期的短内补足。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。(1)风温:在开炉初期热量严重不足时,应尽可能保持较高风温(可以用到 950~1000℃)。送风量过小时,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(2536m<sup>3</sup>,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,应选用较合理的焦炭负荷。

(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(1/5~1/4),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。会出现严重的偏尺,极大影响炉料的层状分布,常常只能用多次的偏布料(附加焦炭)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。有极大使用价值。太钢 1350M<sup>3</sup> 高炉有过尝试,效果很好。

(4)富氧和喷煤问题:开炉初期的主要矛盾是解决炉内“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。富氧量以理论燃烧温度 2400℃ 为宜,以消化煤粉、保持风口工作状态。还应加强巡检,以确保安全。

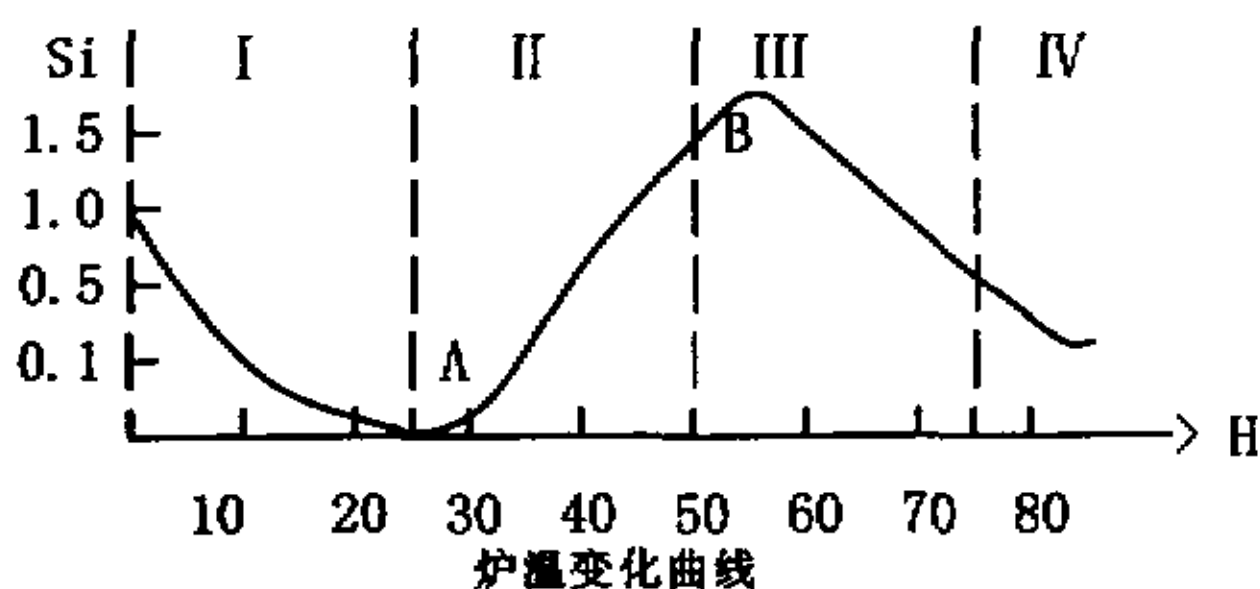
(5)炉缸加热问题:由风口进入炉内的热量,传热方向是随煤气向上传热,而向风口以下的炉缸传热,则主要是靠熔化的渣铁及喷吹铁口。对于大型高炉,铁口孔道深,喷吹铁口效果有限。若靠熔化的渣铁加热炉缸,则易影响渣铁流动性。使用如上所述的氧枪,则可直接在炉缸底部形成一个高温区,直接加热炉缸,对改善炉缸热状态具有重要的实际意义。

6. 炉温问题: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。

可分为四个阶段(如图):

I 段,由开始送风至炉温最低点。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。



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,逐步捅开风口,并适当采取降温手段。

Ⅲ段,炉温反弹到最高点后,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,确认炉缸工作状态,加重焦炭负荷,进行喷煤。

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,提高 A 点的水平,降低 B 点的水平。同时,缩短Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ段的时间,以将恢复炉况时间压缩到最短。

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。现讨论:

由公式:

$$V = \frac{QP_0(T + 273)}{NS \cdot 273(P + P_0)} = \frac{p_0}{273S} \cdot \frac{Q}{N} \cdot \frac{T + 273}{P + P_0} \quad (1)$$

$$E = \frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2Y} \cdot \frac{Q}{N} \cdot V^2 \quad (2)$$

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

其中: E - 鼓风动能(kgm/s)

V - 实际风速(m/s)

P - 表值热风压力(kg/m<sup>2</sup>)

Q - 标态冷风流量(Nm<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(℃)

Pd - 炉顶煤气压力(kg/cm<sup>2</sup>)

ΔP - 料柱全压差(log/m<sup>2</sup>)

r、g、p<sub>0</sub>,分别为标态空气密度,重力加速度,绝对温度和 1 个大气压,均为常数。

由①式,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②式,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。经验证明,以实际风速不超正常冶炼风速的 20% 为宜。特别当炉况热行时,更应严格控制。采用富氧时,则应以实际炉缸煤气量计算风速,进行比较。由(3)式,Δp 决定于焦炭负荷、矿批、布料角度、反弹料的造渣反应、及炉温水平和趋势等影响料柱透气柱的因素。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,在料尺工作能保证的前提下,应尽可能加大  $P_d$ ,一般以全风量全顶压的比例计算而得。顺行好, $\Delta P$  低过, $P_d$  可适当提高,一般不宜  $>20\%$ ,顶压过高会影响煤气正常分布。

#### 8. 开炉料选用,装炉原则及装料制度

开炉料中焦炭、矿石均应选用冶金性能良好及筛分整粒良好的材料。配料中渣量选择以  $Al_2O_3 \geq 18\%$  为宜。

装料:对于停风到风口带区域时,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,若布料角度过大,由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 4 米料线以上时,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对于停风到风口带的停风,炉腰中部以下应全部充填净焦。

对于停风到炉腰中部的喷补,在停风前也应加入足量附加净焦,以完全替换掉所有的软熔带。以防止开炉初期,炉内大量亏热时形成大量软溶物和渣铁,影响恢复进度。

②炉腰中部以上至炉身第一层水箱上沿一般充填空焦和萤石,萤石量以渣中  $CaF_2$  含  $5 \sim 10\%$  为宜,因停风料线较浅,反弹料量大,则按 2. 中造渣制度情况处理。

③正常料装入:位置一般在炉身第二层水箱以上位置。矿批宜选用小矿批,按经验应选在相应缓变区范围内较好。如  $2500M^3$  高炉选  $35 \sim 40$  吨,而正常使用为  $55 \sim 60$  吨。正常料负荷一般为  $2.0 \sim 2.2$ ,较正常焦负荷轻  $20 \sim 30\%$ ,同时,正常料之间应间断加入附加焦,使焦炭负荷逐步加重,具体量还需视停风时间长短而定。全炉焦比一般  $3.0t/t$  左右,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,因此全炉焦比意义不大。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。

#### 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。控制标准是:高炉透气性指数稳定,料尺自由活动和实际风速不超标。

(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,应渣铁混出,必要时走假小坑和砣子锅。

(3)待反弹料进入软熔区和风口带附近时,气流严重,应坚决控制风量、风压,以小风量,低风压适应。同时,应加强巡检,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,因风口前区域为大量焦炭,捅开风口后可加速炉况热行。应坚持采取先开风口,逐步加风原则,风量掌握应在下限,以较小的风量和适当的降温手段(风温  $850 \sim 900^\circ C$  为宜)取得顺行。待后续负荷料下达后自然降温。炉温水平应控制在  $1.0 \sim 1.5$  范围,宜高不宜低,以取得充沛的渣铁物理热。

(5)根据炉温水平及时调整好后续焦炭负荷,同时校对好炉渣碱度。

结语:

1. 喷涂后高炉的一次恢复成功,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。