

# 首钢迁钢 3 号高炉合适鼓风动能的探索

林春山

(首钢迁钢公司, 河北, 064400)

**摘 要** 主要探讨了鼓风动能对高炉冶炼的影响, 指出鼓风动能对高炉稳定顺行的重要性。重点分析了影响鼓风动能的因素及控制方法, 通过对迁钢 3 号高炉冶炼实绩对比分析, 统计归纳出现阶段 3 号高炉合理鼓风动能的范围。  
**关键词** 高炉 鼓风动能 风速 循环区 燃烧带

## 1 引言

现代化钢铁联合企业, 对生产的持续、稳定性要求极高, 高炉炼铁是钢铁联合企业生产的咽喉, 其安全、稳定、顺行对整个物流的平衡极为重要。高炉正常生产必须要遵行三个规律: ①炉况稳定、顺行。②煤气流分布合理。③炉缸工作良好。三者之中, 煤气流分布是核心, 尤其是炉缸初始煤气流的分布, 它不仅决定了炉缸的工作状态, 同时也主导了高炉上部软熔带和块状带内的二次和三次煤气流分布, 合理的初始煤气流分布, 是保证高炉稳定顺行的基础。高炉煤气流的初始分布, 主要取决于燃烧带, 而决定燃烧带大小和形状的, 是高炉鼓风动能。特别是对于迁钢 3 号 4000m<sup>3</sup> 大型高炉, 炉缸直径超过 10m, 不易吹透中心, 所以一定要控制足够的鼓风动能, 以确保中心煤气流的稳定和中心焦的活性, 防止炉缸堆积, 确保高炉稳定、顺行和长寿。因此, 合理控制和调节鼓风动能, 是保证高炉稳定顺行的根本性措施之一, 寻找不同条件下合理的鼓风动能及其经验式, 将对高炉冶炼具有非常重要的指导意义。

## 2 鼓风动能对高炉冶炼的意义及其影响因素

### 2. 1 鼓风动能的概念

高炉冶炼时, 在高速鼓风作用下, 风口前端一段距离内形成一个近似球形空间的循环区, 焦炭从循环区上部不断降落燃烧, 形成炉料下降的空间, 炉料不断下降, 高炉冶炼得以形成。在循环区外围是一层疏松焦炭区, 称为中间层, 此层间的焦炭不能和煤气流一起运动。循环区和中间层存在着焦炭的燃烧、CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 的氧化反应, 通常称此区域为燃烧带。燃烧带的大小主要取决高炉鼓风动能, 其长度与鼓风动能成线性关系。实际生产中, 调节燃烧带大小以调节煤气流的初始分布为主, 最重要的是调节鼓风动能。鼓风动能是指高炉某一风口单位时间内鼓风所具有的能量, 其大小表示鼓风克服风口前料层阻力、向炉缸中心穿透的能力。

鼓风动能计算公式:

$$E=0.412 \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{Q^3}{F^2} \cdot \frac{(T+273)^2}{(P+P_0)^2}$$

E—风口鼓风动能 J/S 或 W;

Q—风量 m<sup>3</sup>/min

T—风温℃;

n—风口数目, 个;

F—风口总面积 m<sup>2</sup> 0.3962

P—热风压力 Pa

P<sub>0</sub>—标准大气压 101325Pa

## 2.2 合理鼓风动能理论依据及对高炉冶炼的意义

### 2.2.1 理论依据

下部制度是高炉操作制度的基础, 4000m<sup>3</sup> 级高炉一般要求由风口回旋区前端所围成的环形区域面积  $A'$  (也称活面积) 与炉缸面积  $A$  的比值  $n$  在 0.48 (见表 1) 左右才能保证一次煤气流分布较为合理, 如图 (1) 所示, 中心死料柱不致肥大影响顺行。

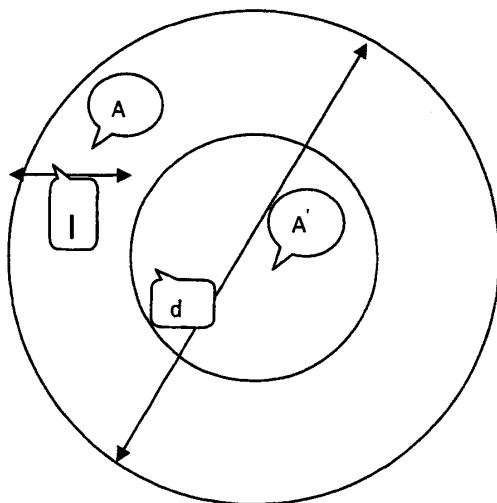
取:  $n = 0.48$  则:  $A' = 0.48A$

$$\frac{\pi}{4}[d^2 - (d - 2l)^2] = 0.48 \frac{\pi}{4} d^2$$

$$l = 0.1464d$$

$$l \propto d$$

(2)



$d$  ----- 炉缸直径, mm;  $l$  ----- 回旋区长度, mm;

$A$  ----- 炉缸面积, m<sup>2</sup>;  $A'$  ----- 活面积, m<sup>2</sup>;

图1: 回旋区长度和炉缸活面积

高炉大型化以后, 一次煤气流分布中心不足的矛盾更加突出, 此点显得尤为重要。风口回旋区的曲率半径  $\rho$  与鼓风动能  $E$  之间的理论关系:

$$\rho = \frac{2[E + K(\Delta H - \Delta U)]}{q_{\text{效}}} \quad (3)$$

式中  $q_{\text{效}}$  表示炉料有效正压力对需求鼓风动能的影响, 炉料条件越好, 该参数越大, 同样的鼓风动能条件下风口回旋区曲率半径越小;  $K(\Delta H - \Delta U)$  表示燃烧反应产生的膨胀功。

显然:  $\rho \propto l$  (4)

结合式(2)(3)(4)可以进一步推导出合适鼓风动能与炉缸直径之间的关系:

$$E \propto \frac{q_{\text{鼓}}}{2} - K(\Delta H - \Delta U) \quad (5)$$

式(5)反映了同级别高炉的一般特性,它说明原燃料条件越好,对鼓风动能的需求越大(也允许提高动能来提高冶炼强度)炉缸直径越大,对鼓风动能要求越高。因此可适用于不同高炉鼓风动能的比较,特别是原燃料条件接近的同厂不同高炉间、或同一高炉的不同炉役间的比较。

## 2.2.2 控制合理鼓风动能的意义:

燃烧带及其控制是高炉下部调剂的理论基础,它对炉缸煤气分布、炉温的分布和炉料下降都有较大的影响<sup>[2]</sup>。由鼓风动能的概念可知,一定炉缸直径的高炉,就决定了其所需的一定范围的鼓风动能。也就是说,对于一定炉缸直径的高炉,不论何种冶炼条件,它都有一个允许最低、最高的鼓风动能,超出这个范围,无论怎么调剂,炉况都不能保证稳定;在此范围之内,还要根据不同的冶炼条件,控制不同的鼓风动能,以使炉况、技术经济指标尽可能好。因此,合理鼓风动能的含义就是:在一定范围内、能确保高炉炉况稳定顺行并取得良好技术经济指标的鼓风动能。由于合理的鼓风动能最根本的表现即为煤气流分布合理、炉况稳定、各项技术经济指标良好,因此,努力控制合理鼓风动能的意义是:

(1)有利于生产稳定,取得良好的技术经济指标。鼓风动能合适,则燃烧带大小、形状得当,初始煤气流分布合理,再配合相应的上部调剂,则二次煤气流的分布也将合理。合适的中间和边缘煤气流,将使高炉的透气性、热负荷、下料、软熔带得到有效的控制和调节,最终有利高炉的稳定、顺行、优质、长寿和获得良好的技术经济指标。过大、过小的鼓风动能都将导致煤气流分布不合理,炉况不稳:要么中心过强,边缘偏弱,煤气利用率低,炉墙渣皮易脱落;要么中心煤气流不畅,透气性不好,边缘煤气流过强,炉墙不稳定。

(2)有利于高炉作业、延长高炉寿命。合适的鼓风动能,将使煤气在整个炉缸圆周截面上的分布更加均匀合理,炉缸工作就更加活跃。特别是对大高炉,炉缸直径较大,一定要保证足够的鼓风动能吹透中心,以保持良好的炉缸工作状况。鼓风动能过小,气流吹不到炉料中心,易造成炉缸堆积,炉缸热均性、死料柱的透气、透液性大大变差,铁水环流加剧,铁口难以打进泥,渣铁不易出净,侧壁温度上升、炉芯温度下降,炉缸侵蚀厉害,最终将影响高炉的一代炉龄。鼓风动能过大,则炉缸中心料柱过吹,焦炭易被强气流搅碎,死料柱透气透液性也会变差,同时,过吹还会使中心煤气流相互搅扰,造成煤气流分布的紊乱。

## 2.3 影响鼓风动能的因素

(1)高炉鼓风量。高炉鼓风量与鼓风动能成三次方关系,因此,它对鼓风动能影响是最大的。同时,由三次方函数的特点可知:鼓风量增加时,鼓风动能增大,并且随鼓风量的增加,鼓风动能的增幅逐步减小;当鼓风量减小时,鼓风动能减小,并且随鼓风量的减小,鼓风动能迅速减小。当然,鼓风量增加,风压也会增加,但其幅度远小于风量的影响。

(2)富氧率。理论上,在冶炼强度一定时,富氧率越高,风量越小,带入炉内的氮气的量减小,同时氧气加快了风口前端焦炭、喷吹燃料的燃烧速度,减少了鼓风的冲击力,因而鼓风动能减小。

(3)原燃料条件。在送风条件一定的条件下,高炉原燃料冶金性能越好,则高炉透气性越好,

风压越低,气流越易扩散,鼓风动能越大;反之鼓风动能越小。当原燃料条件达到一定标准时,它对鼓风动能的影响不明显。

#### (4) 喷吹燃料及燃烧率。

理论上认为:高炉喷吹燃料时,约有 25% ~40%的燃料在风口内燃烧,喷吹燃料气化、分解使理论燃烧温度降低的同时,燃烧产生大量气体,增加炉腹煤气量,放出大量热,使鼓风体积膨胀。喷吹燃料越多,燃烧率越高,炉腹煤气量越多,鼓风动能越大。但从生产实践看:大喷煤后,大部分煤粉在靠近风口处燃烧,风口循环区变短,主要表现为边缘煤气流发展,冷却壁热负荷增加,而中心略显不足,也即实际鼓风动能有降低趋势。

(5) 装料制度。焦炭、矿石装入炉内的批重、料线、布料模式等称为高炉的装料制度,它是高炉上部调剂的手段。虽然高炉冶炼是以下部燃烧带、鼓风动能调剂为基础,但上部调剂对高炉煤气流的二次分布、三次分布和软熔带的位置、形状具有决定性的作用,它反过来会对下部调剂产生影响。

(6) 炉顶压力影响。在风量一定时,增加炉顶压力,则相应风压升高,煤气流速亦降低,鼓风动能降低;反之,则鼓风动能增加。

### 3 迁钢 3 号高炉对合理鼓风动能的探索实践

#### 3.1 原始数据的收集

本研究数据收集选择迁钢 3 号高炉 2010 年 1 月至 2011 年 12 月共 24 个月的实际生产指标为对象,对高炉日常操作报表进行了分析;计算出各月的平均透气性指数、顶压、风速、焦比、喷煤比以及对应的高炉利用系数,再计算出高炉每个月的平均鼓风动能(见表 2)

#### 3.2 迁钢 3 号高炉合理的鼓风动能范围

迁钢 3 号高炉于 2010 年 1 月开炉,在投产初期(前三个月)较长一段时间内,操业上处于摸索阶段,未能充分认识到合理控制鼓风动能对于高炉冶炼的意义,另外也由于原燃料不断变化,因而在计算鼓风动能变化较大时,也没有将鼓风动能控制在合理范围之内,从而导致炉况频繁波动,甚至悬料。从 4 月开始,在认识到下部初始煤气流和鼓风动能的重要性之后,开始有意识地将鼓风动能严格控制在一定范围之内,在此范围内,再根据不同的冶炼条件适当调整,最终取得良好实效,使 3 号高炉步入炉况稳定、顺行,技术经济指标不断进步的新时期。

(1) 为了取得利用系数与鼓风动能之间的关系,我们从表 1 中提取数据作出利用系数与鼓风动能的散点关系图(见图 2)

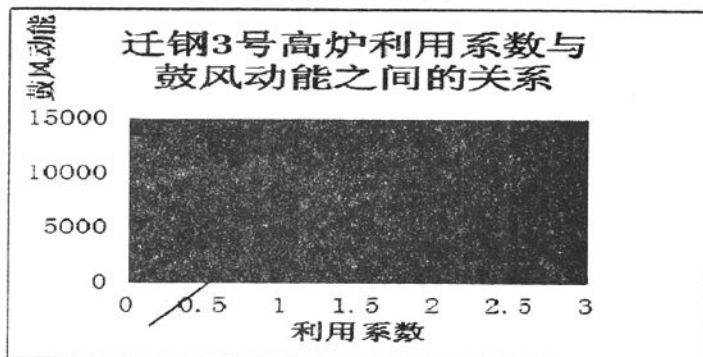


图2 利用系数和鼓风动能的关系曲线

从图 2 可看出高炉利用系数与鼓风动能各对应点均近似呈直线状分布,说明利用系数与鼓风动能之间约呈线性关系。

从 2010 年 4 月份开始 3 号高炉的煤比逐步上升,焦比逐渐下降,整个高炉的各项指标都在稳步提升,当煤比从 2 月份的 93kg 提升到 11 月份最高的 193.5kg,焦比从 2 月份的 438.45kg 降低到 11 月份的 272.14kg,动能呈上升趋势,但是,当煤比提高到一定值(170kg 左右)焦比降低到一定值(290kg 左右)以后动能基本上稳定在一定的范围之内(13300w—14000w)。

相同冶炼条件下,富氧率越高,炉缸炉腹煤气量越少,鼓风动能也越小。因而 3 号高炉在冶炼强度不同时,采取了不同的富氧措施:利用系数低时,鼓风量小,鼓风动能往往不足,因此一般富氧率较低,以保证足够的炉腹煤气量和鼓风动能;从 2010 年 4 月份开始,随着冶炼强度和高炉煤比的提高,高炉风量增大,如果保持同样富氧率,则炉腹煤气量将大幅增加,一方面高炉透气性将恶化,同时鼓风动能将过大,因此富氧率逐步提高(从 4 月份 2.23 提高至 2.40 左右),以维持合理的鼓风动能(13500w 左右)。见表 2。

#### 4 结论:

①3 号高炉鼓风动能的下限值为 13000w,低于该值就鼓风动能就过小,中心吹不透,炉况的顺行和稳定不好维持。

②在高炉利用系数较低时,随利用系数提高,鼓风动能也应同步提高,但到达一定水平时,就稳定在某一合理值,对 3 号高炉来讲,这一合理值是 13500w 左右。这是因为利用系数较低时,透气性好,随着利用系数逐步提高,高炉透气性逐步变差,为吹透中心,必须要适当提高鼓风动能,但炉缸直径是有限的,鼓风动能不能大到足以使气流穿透高炉中心的程度,否则气流分布就会紊乱,所以鼓风动能在利用系数提高到一定水平时,就不能再提高,而必须要保持在某一合理值,这一合理值就是既能吹透中心、又保持适当边缘煤气流的合理鼓风动能。

③由表 2 和图 2 分析,适合 3 号高炉的鼓风动能值应该是 13000w—14000w 之间。

|                             |      |      |      |       |       |      |       |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| 炉缸直径 m                      | 4.7  | 5.6  | 6.1  | 6.8   | 7.2   | 8.8  | 9.8   | 10.3 | 11.6 | 12.5 | 13.4 |
| 回旋曲深度m                      | .784 | .950 | .90  | 1.118 | 1.033 | 1.36 | 1.302 | 1.29 | 1.45 | 1.70 | 1.88 |
| $A_{\text{回}}/A_{\text{缸}}$ | .556 | .563 | .503 | .547  | .508  | .52  | .46   | .45  | .438 | .47  | .48  |

#### 参考文献

- [1] 成兰伯. 高炉炼铁工艺及计算, 北京:冶金工业出版社, 1990.
- [2] 罗吉敦. 炼铁学, 北京:冶金工业出版社, 1994.