

试验研究

# 高炉炉腹煤气量指数与透气阻力系数的应用分析

马荣霞, 杨成, 王芳

(山东石横特钢集团有限公司, 山东 肥城 271612)

**摘要:**将炉腹煤气量指数  $X_{BC}$  定义为单位炉缸断面积上通过的炉腹煤气量并给出了透气阻力系数  $K$  的计算公式,  $X_{BC}$  及  $K$  可以用作判断炉况的标志, 衡量高炉强化冶炼的程度。石横特钢的生产数据分析表明, 1#高炉  $X_{BC}$  为  $68 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 、 $K$  为 16.2 时, 高炉炉况最为稳定; 3#高炉  $X_{BC}$  为  $70 \text{ m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 、 $K$  为 16 时, 炉况顺行最好。可将  $X_{BC}$ 、 $K$  并入高炉曲线, 实现在线实时观察, 对高炉炉况顺行状态判断实现量化。

**关键词:**高炉; 炉腹煤气量指数; 透气阻力系数; 炉况判断

中图分类号: TF538

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2015)04-0030-02

## 1 定义及计算方法

焦炭、煤粉燃烧后, 形成炉腹煤气, 炉腹煤气的数量与鼓风量、富氧量、湿分、喷吹物的数量、成分等有关。炉腹煤气在上升过程中穿过料层遇到阻力, 其阻力大小除了与炉腹煤气量有关外, 还与煤气的黏性、密度、炉料的粒径、形状、孔隙率等因素有关。由于炉缸靠近炉腹, 在生产过程中炉缸断面积基本不变, 故将炉腹煤气量指数  $X_{BC}$  定义为单位炉缸断面积上通过的炉腹煤气量  $[\text{m}^3/(\text{min} \cdot \text{m}^2)]$ 。

1) 炉腹煤气量:

$$V_{BC} = 1.21 V_B + 2 V_{O_2} + 44.8 W_B \times (V_B + V_{O_2}) / 18000 + 22.4 P_c \times H / 120 \quad (1)$$

2) 炉腹煤气量指数:

$$X_{BC} = 4 V_{BC} / \pi d^2 \quad (2)$$

3) 高炉透气阻力系数:

$$K = [(P_b + 101.3)^2 - (P_t + 101.3)^2] \times 100 / V_{BC}^{1.7} \quad (3)$$

式中:  $V_B$  为风量 (不包括富氧),  $\text{Nm}^3/\text{min}$ ;  $V_{O_2}$  为富氧量,  $\text{Nm}^3/\text{min}$ ;  $W_B$  为湿分,  $\text{g}/\text{Nm}^3$ ;  $H$  为煤粉的含氢量, %;  $P_c$  为喷吹煤粉量,  $\text{kg}/\text{h}$ ;  $d$  为炉缸直径,  $\text{m}$ ;  $V_{BC}$  为高炉炉腹煤气量,  $\text{m}^3/\text{min}$ ;  $P_b$  为热风压力,  $\text{kPa}$ ;  $P_t$  为炉顶压力,  $\text{kPa}^{[1]}$ 。

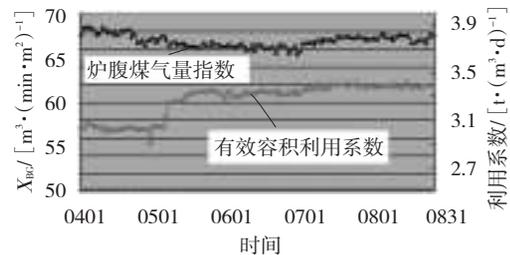
## 2 $X_{BC}$ 与各指标的关系

限制高炉强化的操作因素都与高炉内的煤气流动有关, 也就是高炉内煤气的通过能力决定了高炉的强化操作。高炉能够通过的煤气量取决于炉料的透气性。高炉料柱的孔隙率越大, 能通过的炉腹煤气量也越大, 高炉也更利于提产。对石横特钢

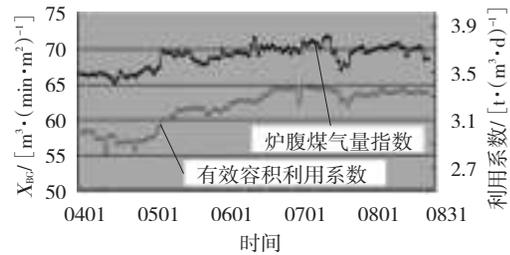
收稿日期: 2015-03-24

作者简介: 马荣霞, 女, 1980年生, 2001年毕业于山西省冶金工业学校钢铁冶炼专业; 2011年毕业于内蒙古科技大学冶金工程专业。现为山东石横特钢集团有限公司生产技术部工程师, 从事炼铁工艺管理工作。

1#、3#高炉 (炉容均为  $1\ 080 \text{ m}^3$ ) 2014年4—8月份的  $X_{BC}$  和有效容积利用系数进行统计对比, 见图1,  $X_{BC}$  和燃料比的关系见图2。

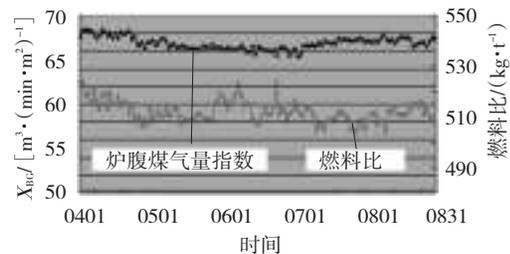


a 1#高炉

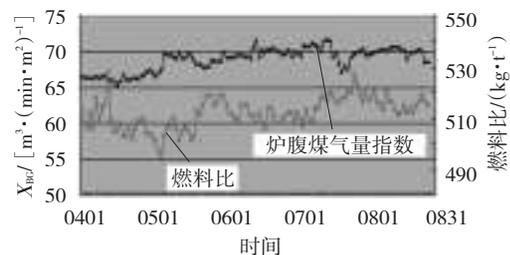


b 3#高炉

图1 2014年石横特钢高炉  $X_{BC}$  与利用系数的关系



a 1#高炉



b 3#高炉

图2 2014年石横特钢高炉  $X_{BC}$  与燃料比的关系

从图1可以看出,当3#高炉利用系数较低时,提高炉腹煤气量指数  $X_{BC}$  可以强化高炉的冶炼(图1b)。 $X_{BC}$  达到一定程度后,利用系数有下降或变缓的趋势。利用系数最高时, $X_{BC}$  在  $70 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$  左右。1#高炉4月份时  $X_{BC}$  最大,但高炉利用系数并不高,后通过降低燃料比,单位生铁的炉腹煤气量降低,利用系数稍有升高。5月17日后,随着高炉大富氧,理论燃烧温度升高,风口前的热量也升高,为了保持热量稳定,高炉炉腹煤气量略有下降(图1a)。

从图2可以看出,燃料比和  $X_{BC}$  也有一定对应关系,燃料比最低时并不是  $X_{BC}$  最大, $X_{BC}$  有一定界限。经过分析近几个月的曲线,发现1#高炉  $X_{BC}$  稳定在  $68 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$  左右时,高炉燃料比最低,且炉况最为稳定(图2a)。3#高炉  $X_{BC}$  稳定在  $70 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$  左右时,炉况顺行稳定(图2b)。

### 3 高炉透气阻力系数的应用

根据卡曼方程和公式(3)可以看出,高炉透气阻力系数  $K$  是与炉料透气性密切相关的指数,涉及到风压、顶压、风量、富氧量、喷吹煤粉等参数。对比目前使用的透气指数  $K' = 60V_w/(P_b - P_T)$  来说,高炉透气阻力系数对指导高炉更全面,更能反映炉内的实际状况。

对石横特钢1#高炉、3#高炉2014年4—8月份透气阻力系数与利用系数关系的统计分析见图3。

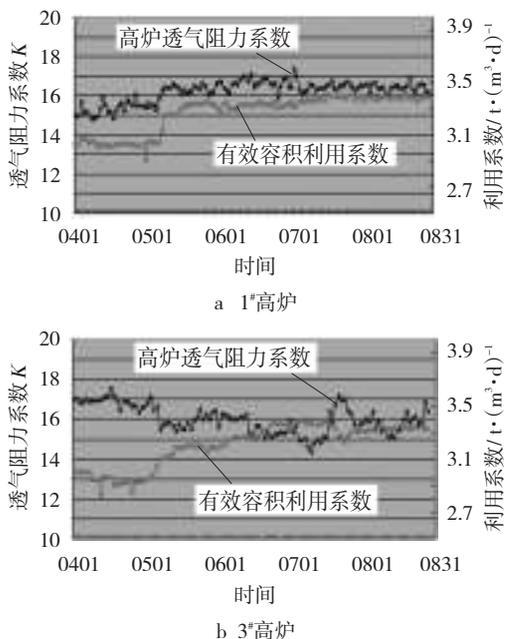


图3 2014年高炉透气阻力系数  $K$  与利用系数的关系

从图3a可以看出,1#高炉2014年4月份  $K$  值相对较低,此时燃料比偏高,前期  $520 \text{ kg/t}$ ,后透过调整布料矩阵,煤气利用好转,高炉  $K$  值有所上升,高炉利用系数也随之升高。说明  $K$  值在此区间时,高炉有近一步提产的可能,可采取压边等措施来强化冶炼。

从图3b可以看出,3#高炉4月份高炉  $K$  值持续偏高,在17以上,说明料柱透气性差,在此区间操作,如果强行加风,则高炉发生悬料、崩料的概率会大大增加。此时只能通过减轻焦炭负荷,缩小矿批等措施,改善高炉料柱的透气性,使高炉炉腹煤气量增加,燃料比才能逐渐降低,有效容积利用系数逐步提高。

### 4 高炉 $X_{BC}$ 与 $K$ 的应用价值

从高炉下部液泛现象和高炉上部流态化现象分析认为,高炉存在冶炼强度的界限。限制高炉强化的气体力学因素,归根结底是高炉内煤气的通过能力。采用炉腹煤气量指数  $X_{BC}$ ,为高炉精细化管理创造了条件。当生产需要高炉进一步强化冶炼时,可以检查  $X_{BC}$  的潜力,采取必要的措施使炉腹煤气量接近最大值。已经接近最大值时,应为高炉创造必要的条件,采取减少吨铁炉腹煤气量措施,保持炉况稳定和顺行,达到高产。采用最大  $X_{BC}$  来衡量高炉强化程度,更科学、更符合高炉冶炼的本质。根据一定的原燃料条件,可以计算出最大  $X_{BC}$  值,超过最大  $X_{BC}$  值的界限,将导致燃料比的升高和炉况失常。

高炉透气阻力系数  $K$  对高炉顺行、高产具有重要指导意义。当  $K$  值保持在正常范围,说明高炉稳定顺行;当  $K$  值高于正常范围,说明高炉料柱透气性变差。若  $K$  值不断升高,则高炉可能发生滑料、崩料、悬料等事故;若  $K$  值低于正常范围,则可能发生吹料、管道等失常炉况。

### 5 结论及建议

5.1 炉腹煤气量指数和高炉透气阻力系数是一个综合参数,可以作为判断炉况的标志。通过分析近几个月的生产数据,发现1#高炉炉腹煤气量指数  $X_{BC}$  在  $68 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ 、透气阻力系数  $K$  在16.2时,高炉炉况最为稳定;3#高炉  $X_{BC}$  在  $70 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ 、 $K$  在16左右时,炉况顺行最好。

5.2 高炉炉腹煤气量指数和透气阻力系数是近几年提出的概念,此方面的研究分析不是太多,大部分人对此也比较陌生,因此,还有很多工作要做,其中最重要的是能够接受新的观念。

5.3 下一步可将炉腹煤气量指数与透气阻力系数并入高炉曲线中,实现在线实时观察,对高炉炉况顺行状态判断实现量化。

#### 参考文献:

- [1] 项钟庸. 高炉设计-炼铁工艺设计理论与实践[M]. 北京:冶金工业出版社,2007:164-165.

### 3.3 开拓方案的选择

综合技术经济对比可知,方案Ⅲ最优,因此,选择方案Ⅲ为最终开拓方案。矿山基建完成后形成两主、两副4竖井的开拓系统;当-300 m中段水平开采完后,东副井停止提升及进风任务,东主井停止提升只作为回风井,扩界矿区内前期形成1主、1副、1风井的3竖井开拓系统;接续期矿区内形成1主、1副、1风井加1盲竖井的开拓系统。

矿山前期东主井承担提升矿石任务,内设梯子间,兼做安全出口和出风井;东副井承担人员上下,提升废石、物料等任务,井筒内设梯子间,兼做安全出口和进风井;西主井主要承担提升矿石任务,井筒内设梯子间,兼做安全出口和回风井;西副井主要承担人员上下,提升部分废石、物料等任务,井筒内设梯子间,作为安全出口和进风井。接续期在-900 m水平设盲竖井,自-900 m水平开拓至-1 140 m水平,接续西主井深部矿石提升任务,兼做安全出

口及进风井。

## 4 结 语

开拓方案经过设计优化,能够满足矿山扩界、扩能后采掘生产的要求;技术上可行、安全上可靠、经济上合理,符合国家相关规定的要求;前期基建期间,东主、副井可以正常提升,并将东主、副井两侧的-200~-250 m水平中段矿体全部采出,保证正常生产,产生一定的经济效益,可保证矿山基建投资的大部分资金来源,使项目建设更有保证,效益更加突出。该开拓方案通过了专家评审,也得到了政府主管部门的批准。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 冶金矿山采矿设计规范 (GB 50830—2013)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [2] 北京有色冶金设计总院. 采矿设计手册[M]. 北京: 北京建筑工业出版社, 1989.

## Optimization and Selection of the Developing Schemes for Enlargement and Expansion in an Iron Ore

XI Zhufeng

(Shandong Qianshun Mining and Technology Co., Ltd., Jinan 250014, China)

**Abstract:** Some iron ore has a concealed deposits, and the underground mining methods was used. To meet the needs for expanding sector and production, according to characteristics of the existing conditions of mining technology and steep dip angle of ore body, buried deep, can only choose the shaft way to develop. The three alternative development plan was given. Based on comparing of technology and economic, the project III is determined as the best development scheme. Namely it does not affect the normal production in the mining area of west wing of the new driving two shafts (west main and west auxiliary). The technical scheme is feasible, reliable safety, reasonable in economy. And it is reviewed by the experts and approved by the government department.

**Key words:** iron ore; expansion; ore body characteristics; development system

(上接第29页)

## Cause Analysis of Nozzle Blocking in Producing Ti-IF Steel by ASP Technology and Process Optimization

ZHANG Lei

(The Iron and Steel Research Institute of Shandong Iron and Steel Group Co., Ltd., Jinan 250101, China)

**Abstract:** The submerged nozzle blockages of Ti-IF steel in ASP continuous casting were sampled and analyzed by optical microscopy, scanning electron microscopy and energy spectrum analysis. The results showed that the blockages were made of iron and inclusions which contained calcium aluminates,  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  and RO and so on. The accumulation of high melting  $Al_2O_3$  and calcium-aluminate on the inner wall of nozzle formed the junction tumors which was the key reason for nozzle clogging. With the increasing of Ti content, the risk of nozzle blocking increased too. By modifying LF process into LF+RH process, optimizing calcium treatment process and controlling  $[Ti] < 0.02\%$ , the castability of molten steel was improved, the ULC Ti-IF steel could be produced at least 8 furnace using one submerged nozzle.

**Key words:** Ti-IF steel; nozzle blocking; blockage;  $Al_2O_3$ ; calcium aluminate

(上接第31页)

## Application Analysis of BF Bosh Gas Index and Permeability Resistance Coefficient

MA Rongxia, YANG Cheng, WANG Fang

(Shandong Shiheng Special Steel Group Co., Ltd., Feicheng 271612, China)

**Abstract:**  $X_{BG}$  (the bosh gas index) is defined as bosh gas volume through the area of hearth,  $K$  is given as the ventilation resistance coefficient and its formula, with  $X_{BG}$  and  $K$  can be used as an indication of the furnace condition and measure of strengthening BF smelting. Analysis of Shiheng Special Steel production data showed that the No.1 BF's  $X_{BG}$  is  $68 m^3/(min \cdot m^2)$  and the  $K$  is 16.2, the BF is the most stable; the No.3 BF's  $X_{BG}$  is  $70 m^3/(min \cdot m^2)$  and the  $K$  is 16, the BF is the best regular working. The  $K$  and  $X_{BG}$  can be incorporated into the blast furnace curve, the on-line real time observation can be realized, and the judgment for BF condition is quantized.

**Key words:** blast furnace; bosh gas index; air resistance coefficient; furnace condition judgment