包钢 4# 高炉炉缸破损调查研究*[1]

黄雅彬[1]，韩 磊[1]，张志斌[1]，于恒亮[1]，解宁强[2]

（1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司炼铁厂，内蒙古 包头 014010；
2. 北京北科亿力科技有限公司，北京 100043）

摘 要： 包钢 4# 高炉整个炉役寿命长达 18 年，在国内大中型高炉长寿技术实践中处于领先水平。通过对包钢 4# 高炉炉缸和炉底侵蚀状态调查和取样分析发现，象脚状侵蚀部位分布在炉缸炉底交界处，并重点分析了炉缸炉底的侵蚀原因。

关键词： 高炉；炉缸炉底；破损调查

中图分类号： TF573 **文献标识码：** B **文章编号：** 1009－5438(2019)02－0016－03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.02.006

Investigation for Hearth Damage of 4# Blast Furnace of Baotou Steel

Huang Ya－bin[1], *Han Lei*[1], *Zhang Zhi－bin*[1], *Yu Heng－liang*[1], *Xie Ning－qiang*[2]

(1. *Iron－making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Beijing Bei Ke Yi Li Science and Technology Co., Ltd., Beijing* 100043, *China*)

Abstract: The whole campaign life for 4# blast furnace of Baotou Steel is up to 18 years, which is at the advanced level in the technical practices of long campaign technology for large and medium－sized blast furnaces in China. It was found that the elephant foot shaped erosion was at the junction of hearth and furnace floor by investigation and sampling analysis for the state of erosion for hearth and furnace floor of 4# blast furnace of Baotou Steel. Moreover, its reasons are analyzed emphatically.

Key words: blast furnace; hearth and furnace floor; damage investigation

包钢 4#高炉于 1995 年 11 月建成投产，有效容积 2 200 m^3，28 个风口，4 个出铁口，炉缸设计侧壁采用了 UCAR 热压小块炭砖(NMA)，炉底设计采用大块炭砖加两层高铝砖搭配两层陶瓷垫的方式，2014 年 5 月底，包钢 4#高炉由于冷却壁的大量损坏而被迫停炉大修，实际冶炼时间达到 18 年 6 个月。

为了解 4#高炉炉缸和炉底的侵蚀状况，弄清楚包钢原燃料条件下炉缸侵蚀原因，对炉缸和炉底侵蚀规律再认识，利用 4#高炉大修时间，对包钢 4#高炉炉缸炉底的破损情况进行了调查研究，对炉缸、炉底实物组成进行了重点分析。

1 包钢 4#高炉破损调查情况

包钢 4#高炉破损调查风口区域主要集中在 18#和 19#风口部位，铁口区域主要集中在 3#铁口和 4#铁口左右 4 m 的范围，高度方向上集中在风口下沿 1 m至炉底。从实际解剖情况来看，风口以下炭砖侵蚀较为严重，主要是“脆化”严重，炭砖剥落，使得

* 收稿日期：2019－02－12

作者简介：黄雅彬(1973－)，男，内蒙古乌兰察布市人，高级工程师，现从事炼铁工艺技术质量管理工作。

残余厚度逐渐减薄，特别是炉缸大炭砖与小炭砖接触部位，大炭砖残厚 600 mm 左右，小炭砖残余厚度 900 mm，二者都存在脆化，脆化层厚度在 300 mm 左右。铁口区域侵蚀明显，除铁口通道周边形成的泥套外，侵蚀最严重的区域残厚在 900 mm 左右，周向距离 4# 铁口 3 m 左右，自上而下第 29 块炭砖处侵蚀较为严重，最薄处残余厚度在 520 mm 左右，形成明显的“象脚状”侵蚀。其它铁口附近区域侵蚀状态受破损调研条件限制，只在铁口区域取样和测量，残余厚度同 4# 铁口相近。

包钢 4# 高炉本次停炉大修放残铁较为彻底，炉底残渣铁量很少，炉缸炉底交界处形成较为明显的沉积层，有效减弱了炉缸炉底侵蚀。炉底形成较为明显的“锅底状”侵蚀，即中间低，边缘高，同时在炉缸和炉底交界处形成明显的象脚状侵蚀，见图 1。



图 1　包钢 4# 高炉象脚状侵蚀

2　包钢 4# 高炉炭砖侵蚀分析

为保证科学、直观反应炭砖侵蚀程度，本次炉缸炭砖侵蚀测量、分析采取炉缸两侧开口断面解剖。从实际解剖情况来看，3# 铁口两边周向距离铁口 2 m 及 4 m 的位置对应是 12# 风口和 16# 风口附近，铁口垂直高度上小块炭砖侵蚀不明显，残余厚度在 900 ~ 1 030 mm 左右，有的部位小块炭砖保存完好。图 2 为包钢 4# 高炉小块炭砖侵蚀实物。17 层以下，由于接近炉缸炉底拐角区域，侵蚀比较明显。图 3 为包钢 4# 高炉 3# 铁口炭砖侵蚀剖面图。



图 2　包钢 4# 高炉小块炭砖侵蚀实物

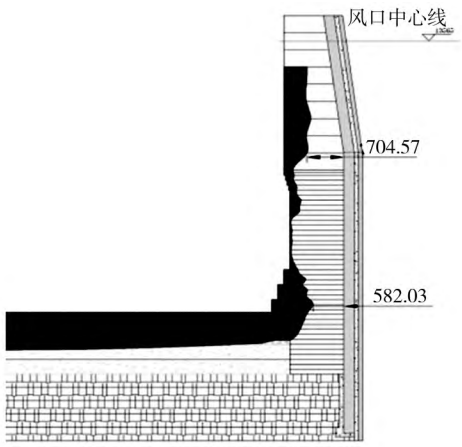


图 3　包钢 4# 高炉 3# 铁口炭砖侵蚀剖面图

风口以下大炭砖的破损明显，主要是环裂影响，20 层小炭砖处，侵蚀残余炭砖厚度在 705 mm 左右。炭砖内表面脆化现象也很明显，部分区域的脆化层厚度达到 350 mm 左右，环裂内部有明显的炭砖残余，从其部位取样化学成分分析见表 1。从表 1 可以看出，砖体受到严重的有害元素侵蚀。原因主要是碱金属蒸汽渗入大炭砖，并在大炭砖内部沉积，体积膨胀造成细小裂缝[1]，随着冶炼进程的持续，碱金属富集量增加，形成窜煤气和渗渣铁，由此造成环裂日益严重。

表 1　4# 高炉粘结物化学成分（质量分数）　%

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
24.14	28.80	3.18	0.47	6.20	6.35

自铁口中心线以下开始，环裂现象减少，炭砖破损的主要方式是表面疏松脆化造成的炭砖剥落等，

由于本次放残铁停炉之后炉内残留渣铁量很少，炭砖内表面受冷却打水的冲刷，疏松层分布明显。在实际生产过程中，这层疏松层受铁水冲刷，侵蚀速度较快。根据以上破损调查得到的参数和记录，同一高度上的4#铁口周边区域侵蚀状况如图4所示。图中显示炉缸侵蚀最为严重的区域分布在26层炭砖，即铁口中心线以下1.8～2.1 m区域，对应的风口位置是19#风口和25#风口之间。

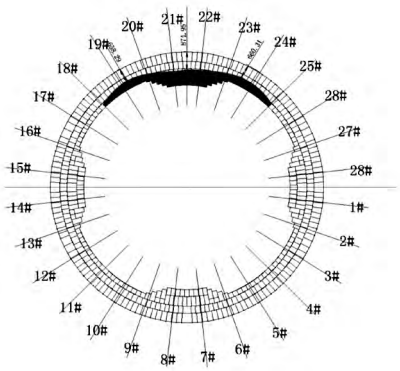


图4 26层炭砖横剖侵蚀情况

炉底残铁，经测量混合物的厚度在760 mm左右。在炉底方面，高炉炉底组成为两层陶瓷垫(厚度400 mm和347 mm)和两层高铝砖(346 mm)。经过炉底破损测量分析发现，靠近边缘区域仍残存一层厚度的陶瓷垫，见图5。炉底中心陶瓷垫完全侵蚀，一层高铝砖侵蚀130 mm左右，剩余炉底高铝砖厚度在550 mm左右。



图5 炉底边缘一层陶瓷垫图

3 结果与缸炉侵蚀监测对比分析

缸炉侵蚀监测系统对于炉役后期的高炉至关重要。停炉前包钢4#高炉安装了炉缸热负荷及侵蚀在线监测系统。包钢4#高炉炉缸冷却系统为二段冷却壁48块、三段冷却壁48块、四段冷却壁48块，冷却水系统属于工业水开路循环，2个高压水包，4个常压水包，每块冷却壁独立供水的结构设计，在炉缸重点侵蚀监测区域共安装无线数字高精度水温传感器120支，实时在线监测炉缸炉底区域的水温差热负荷分布情况，此外在冷却壁之间的“弱冷区”安装无线吸附式炉皮测温装置，以实现对炉缸安全的全方位监测。该系统能在水温差、热负荷及炉皮温度检测数据的基础上，针对包钢4#高炉炉缸结构特点及耐材特性，建立炉缸传热数学模型，对炉缸冷却壁前耐材平均侵蚀厚度和渣铁壳的生成、脱落进行自动计算、显示及预警，为包钢4#高炉停炉前安全生产提供保障，同时对停炉后的炉缸破损调查给予数据支撑。

停炉后依据实际的破损调查侵蚀结果和停炉前炉缸监测系统自动计算的侵蚀数据进行对比，炉底残衬厚度，实际破损调研炉底剩余高铝砖为550 mm，监测系统计算显示的炉底残余高铝砖厚度为590 mm。炉缸侧壁二段冷却壁对应的平均侵蚀剩余厚度约650～700 mm，监测系统计算炉缸二段冷却壁前砖衬平均剩余厚度为646 mm，可知监测系统结果与破损调查结果一致。也证明了炉缸侵蚀在线监测系统可以为炉役后期的高炉提供很好安全生产保障。

4 结论

(1) 包钢4#高炉炉缸侵蚀较为严重，最小残余厚度在520 mm左右，大炭砖环裂较为明显，是4#高炉炭砖破损的主要形式。

(2) 有害元素渗透、沉积是包钢4#高炉炉缸破损的主要原因之一，应该加强原燃料的管理，严格控制有害元素入炉。

(3) 炉底采用双陶瓷垫配合双层高铝砖的设计，起到了较好的隔热效果，有效的降低了热量的向下传导，为保障包钢高炉炉缸长寿提供了依据。

(4) 通过对包钢4#高炉解剖情况与“缸炉侵蚀监测系统”的结果进行对比分析，两者从炉缸炉底侵蚀特征、圆周方向侵蚀内型、炉底侵蚀厚度等都较为接近，也证明了“炉缸侵蚀系统”趋势准确。

参 考 文 献

[1] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京：冶金工业出版社，2012.