

试验研究

高炉炉渣滞留量水模试验及分析

罗霞光, 郭东, 王延平, 周小辉, 张英
(莱芜钢铁集团有限公司, 山东 莱芜 271104)

摘要: 模拟高炉炉渣排放情况, 设计开展水模试验, 对炉渣滞留量影响因素进行分析。结果表明: 油的黏度大, 油的滞留量大; 空隙度大, 油的滞留量大; 浮起高度大, 油的滞留量小。由此可知, 炉渣黏度降低、焦炭热强度提高和铁口数量增加有利于降低铁水带渣量; 炉底死焦堆浮起高度越大越有利于炉渣排放。

关键词: 炉渣; 滞留量; 水模试验; 炉渣黏度; 死焦堆

中图分类号: TF546.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2013)04-0022-03

1 前言

高炉渣铁是连续产生, 存积在炉缸内, 并进行间歇排放。排放结束后的渣滞留量对炉缸工作状态、铁水质量及炉况顺行等冶炼过程都有影响。为了减少渣滞留量对炉况的不利影响, 就必须了解炉缸排放过程中渣铁的流动方式及影响渣滞留量的因素。本研究采用水模的方法, 应用激光测速, 加压操作, 系统探讨不同因素对渣滞留量的影响, 从而为改善高炉操作方法、减少渣铁水流动对高炉内衬侵蚀和高炉炉型设计提供理论依据。

2 试验装置设计

水模试验装置如图1所示, 当渣表面倾斜度不变时, 在P和P'位置液体流动速度应该基本相同。

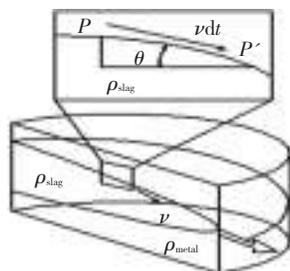


图1 渣表面示意图

P和P'之间的压力降(ΔP_{flow})由Kozeny—Carman方程得到^[1-2]:

$$\Delta P_{\text{flow}} = \frac{180\mu_{\text{flow}}}{d_p^2} \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \nu (v dt) \quad (1)$$

其中: d_p 为颗粒直径, ε 为填充床孔隙度, μ_{flow} 为渣黏度, ν 为液体速度。为保持液面倾角不变, 压力降($\Delta P_{\text{gravity}}$)应该由液体的自来平衡, 即:

$$\Delta P_{\text{gravity}} = \rho_{\text{slag}} g \sin \theta (v dt) \quad (2)$$

其中 ρ_{slag} 为渣的密度。结合这两个方程可得倾角 θ :

$$\sin \theta = \frac{180\mu_{\text{flow}}}{\rho_{\text{slag}} g d_p^2} \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \nu \quad (3)$$

为了重现高炉中渣表面的形状, 在试验过程中 θ 应该不变。速度、长度和时间的比例系数可由以下的方程给出^[4]:

$$\frac{180\mu}{\rho g d_p^2} \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \nu = \frac{180\mu'}{\rho' g d_p'^2} \cdot \frac{(1-\varepsilon')^2}{\varepsilon'^3} \nu' \quad (4)$$

$$\nu = \frac{\nu'}{\nu'} = \frac{\rho \mu'}{\rho' \mu} \left[\frac{d_p (1-\varepsilon)^2}{d_p' (1-\varepsilon')^2} \right] \left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right)^3$$

$$t' = \frac{t}{t'} = \frac{D_H}{D_H'}$$

$$t' = \frac{t}{t'} = \frac{t'}{\nu'} = \frac{\rho' \mu D_H'}{\rho \mu' D_H} \left[\frac{d_p' (1-\varepsilon')^2}{d_p (1-\varepsilon)^2} \right] \left(\frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right)^3 \quad (5)$$

其中: ν' 、 t' 、 ρ' 、 μ' 、 ε' 、 d_p' 和 D_H' 分别代表模型中渣的速度、特征长度、时间、密度、黏度、孔隙度、颗粒直径和容器直径; N 、 l 、 D_H 分别代表高炉中炉渣速度、特征长度、时间和炉缸直径。

试验装置的设计由公式(4)得出 ν^* ; 再由Re相

等, 即 $\frac{\rho \nu l}{\mu} = \frac{\rho' \nu' l'}{\mu'}$, 则 $t' = \frac{l}{l'} = \frac{\rho' \nu' \mu}{\rho \nu \mu'}$, 可得 t' ; 由公式(5)得出 D_H' 。

试验模型的具体尺寸见表1。

表1 试验条件

项目	炉缸直径/m	死铁层高度/m	空隙度	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)		黏度/($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	
				渣	铁水	渣	铁水
实际高炉	10.00	2.00	0~0.4	2 800	7 200	0.500	0.005 0
试验模型	0.55	0.13	0~0.4	840	1 000	0.126	0.001 3

高炉有风口且高压操作, 为了模拟高炉生产实际情况, 试验装置上开了3个风口, 试验时通空气, 容器内的压力用压力表测定。为了便于观察渣滞留情况, 试验装置为半圆柱有机玻璃容器, 用直径为6~16 mm的玻璃珠代替死焦堆。死焦堆的位置

收稿日期: 2012-12-11; 修回日期: 2013-07-11

作者简介: 罗霞光, 男, 1982年生, 2005年毕业于武汉科技大学冶金工程专业。现为莱钢技术中心工程师, 从事高炉长寿、高炉系统高效节能运行、非高炉炼铁工艺研发等方向研究工作。

和形状用铁丝网固定。图2是试验装置结构示意图。

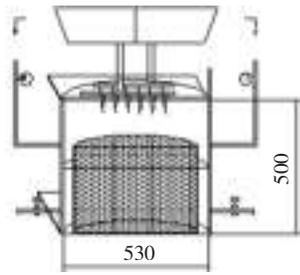


图2 渣滞留量试验模型示意图

3 试验方案制定

3.1 试验方法

按照渣和铁水的比例在试验容器内加入油和水,然后通风,容器内的压力控制在3 kPa。试验中液体的排放速度用空气压力和控制阀来控制。

试验步骤:1)把代替焦炭的玻璃球装入铁丝网,并测定空隙度。2)根据渣和铁水3:10的比例取油和水倒入试验容器内。3)准备取样的烧杯和相机。4)打开风阀,鼓风,使试验容器内的压力保持在3 kPa。5)打开控制阀开始排放油和水并控制出口流量。6)当出口有气体流出时,关闭出口,停止鼓风。7)测定油排出量,计算容器内油的滞留量。

3.2 试验方案

主要进行不同炉渣黏度及渣量、死焦堆空隙度和死焦堆浮起高度的渣滞留量模拟试验,具体试验方案见表2(其中死焦堆直径均为510 mm,开铁口数均为1个)。

表2 渣滞留量模拟试验方案

方案	空隙度	浮起高度/mm	油量/kg	操作压力/kPa	油黏度/(Pa·s)
方案1	0.307	30	5.7	3	0.126
方案2	0.307	0	5.7	3	0.126
方案3	0.307	0	5.7	3	0.152
方案4	0.400	30	5.7	3	0.126
方案5	0.307	60	5.7	3	0.126
方案6	0.400	0	5.7	0	0.109
方案7	0.400	0	4.8	0	0.109

4 试验结果及分析

4.1 黏度及渣量对渣滞留量的影响

图3是试验开始时在油的上下液面取6个点的位置示意图。A、B、C是气油交界面上的3个点,D、E、F是油水交界面上的3个点,G是过铁口中心与炉底平行直线上的点。

试验对油黏度不同时油的滞留量进行了比较。选择两种油,一种是空压机油,黏度为0.126 Pa·s;另一种为混合油,黏度为0.152 Pa·s(方案1和3);其他条件相同。排放结束后,油黏度为0.152 Pa·s时,油滞留量为80%;油黏度为0.126 Pa·s时,

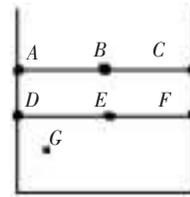
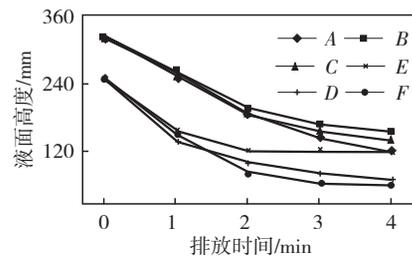
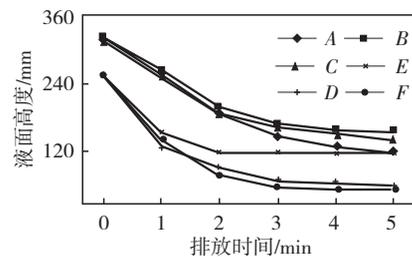


图3 检测点位置示意图

油滞留量为73.5%。这说明高炉渣黏度增大,出铁结束后炉缸渣滞留量将增多;渣黏度小时渣滞留量小。图4a、b是两种油排放情况下油气、油水界面变化曲线。从这两个图看,油的黏度大时排放时间比较长,尤其排放后期,油的液面下降缓慢。



a 油黏度0.126 Pa·s



b 油黏度0.152 Pa·s

图4 不同黏度油的交界面随排放时间的变化

考虑到实际生产中矿石中的脉石成分增高会增加高炉的渣量,模拟试验了不同渣量对排放后渣滞留量影响。油量不同即模拟高炉渣量不同对滞留量的影响(方案6和7),试验中5.7 kg油用以模拟300 kg渣量,4.8 kg油用以模拟250 kg渣量。排放结束后,油量为5.7 kg时滞留量为46%,油量为4.8 kg时滞留量为40%。说明如果高炉内产生的渣量少将有利于减少渣的滞留量。

4.2 空隙度对渣滞留量的影响

为探讨死焦堆空隙度对渣滞留量的影响,进行了以下模拟试验:设定死焦堆空隙度分别为0.307和0.400,对排放结束时油的剩余量进行比较,两个试验的其他条件相同。试验用油均为空压机油,黏度0.126 Pa·s(方案1和4)^[3]。图5是死焦堆空隙度不同时排放过程油气、油水界面变化曲线。由图5a、b对比可以看出,当死焦堆空隙度0.400时,D、E和F线的距离比0.307时的要小,即出铁口对面的油的厚度薄,说明油的滞留量少。

从试验结果看,死焦堆空隙度0.307时油的滞留量为73%,而空隙度为0.400时油的滞留量为

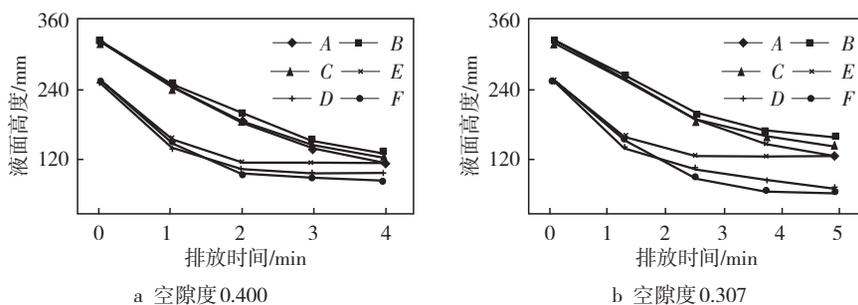


图5 不同空隙度界面随排放时间的变化

61.5%。说明死焦堆空隙度对渣滞留量影响较大,死焦堆空隙度小,将导致更多的渣滞留,对高炉操作不利,提高焦炭热强度,特别是提高渣铁水中焦炭热强度能减少渣滞留量。

4.3 无焦空间高度对渣滞留量的影响

该模拟试验对无焦空间高度对渣滞留量的影响进行了分析,试验条件设定为空隙度0.307,鼓风压力3 kPa,油黏度0.126 Pa·s,而炉底无焦空间层高度分别为0、30 mm、60 mm(方案1、2和5)。当死焦

堆浮起高度为0,即“沉坐”时,油的剩余量为73%，“浮起”30 mm(死铁层高度的1/4)时油滞留量是66.2%，“浮起”60 mm(死铁层高度的1/2)时油滞留量是58.5%。这说明,高炉炉底没有无焦空间层时渣滞留量最大,渣滞留量随无焦空间层高度的增加而减少。图6a、b、c是无焦空间层高度不同情况下排放过程油气、油水交界面变化曲线。当死料柱“浮起”60 mm时,上液面B曲线相对比较低,下液面D和E、F线的距离比较小,说明油滞留量少。

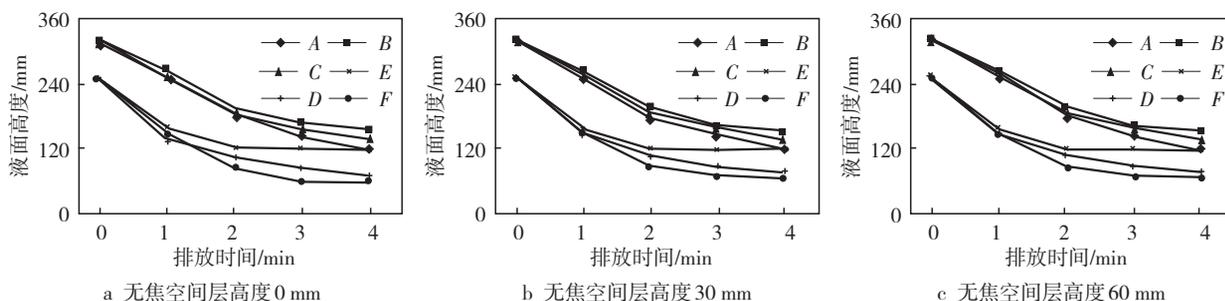


图6 不同无焦空间层高度交界面变化曲线

5 结论

5.1 油的黏度大,排放结束后油的滞留量大,说明高炉操作时,渣的黏度小将有利于减少出铁过程渣的滞留量。

5.2 死焦堆空隙度对渣滞留量影响比较大,死焦堆的空隙度为0.307时,油的剩余量为73%,空隙度为0.400时,油的剩余量为61.5%。提高焦炭在渣铁水中的热强度,将有利于减少出铁时的渣滞留量。

5.3 死焦堆“沉坐”在炉底时油滞留量比“浮起”大,说明炉底有无焦空间层时对排放渣有利,可以减少

渣的滞留量。

参考文献:

- [1] 熊伟.高炉下部气液两相逆流流体力学特性的研究[D].武汉:武汉科技大学,2005.
- [2] 朱进峰,程树森,赵宏博,等.高炉炉缸死焦堆对渣滞留率的影响[J].北京科技大学学报,2009,31(2):224-228.
- [3] 朱清天,程树森,赵明革.炉缸死铁层合理深度的计算[C]//中国金属学会.2007年中国钢铁年会论文集.北京:2007.
- [4] Juan Jimenez, Javier Mochon, Jesus Sainz de Ayala. Mathematical model of gas flow distribution in a scale model of a blast furnace shaft[J]. ISIJ International, 2004, 44(3):518-526.

Hydraulic Model Experiment and Analysis on Retention of BF Slag

LUO Xianguang, GUO Dong, WANG Yanping, ZHOU Xiaohui, ZHANG Ying

(Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China)

Abstract: A hydraulic model experiment on BF slag retention was made for simulation of the slag tapping in iron-making. Through analyzing affecting factors, the main results were as follow: high oil viscosity and porosity could aggravate oil retention and the floating height showed the opposite situation. So conclusions were drawn, with decrease of slag viscosity and increases of thermal strength of coke and the number of tap hole, the slag retention can be decreased; high floating height of fixed bed material is in favor of tapping slag completely.

Key words: blast furnace slag; retention; hydraulic model experiment; slag viscosity; fixed bed material