

120 t 顶底复吹转炉底吹系统的数学模拟和工艺优化

崔荣峰 陈林权

(中冶华天工程技术有限公司, 马鞍山 243005)

摘要 根据120 t转炉建立三维数学模型,并进行Euler两相流计算,找出底吹透气元件合理的偏心位置,由原8个透气元件均布方式,偏心位置为0.56 R(转炉熔池半径)、夹角为45°,优化为6个透气元件,偏心位置0.53 R 2个、0.65 R 2个、0.46 R 2个,两组组合透气砖中心夹角180°,内部夹角30°。生产实践表明,优化后有效地减少底吹气体消耗,提高熔池搅拌功能,碳氧浓度积由优化前的0.002 674降低到0.002 513。

关键词 120 t 顶底复吹转炉 底吹系统 三维数学模型 工艺优化

Math Simulation and Process Optimization on Bottom-Blowing System of 120 t top and Bottom Combined Blown Converter

Cui Rongfeng and Chen Linquan

(Zhongye Huatian Engineering & Technology Corp Ltd, Maanshan 243005)

Abstract Based on a 120 t converter, the 3-dimensional mathematical model has been established and the calculation of Euler two phases is carried out to get reasonable eccentric position of gas permeable elements for bottom blowing. Original even distribution mode of 8 permeable elements with eccentric position 0.56 R (radius of converter bath) at an angle of 45° is optimized and modified to 6 permeable elements of which 2 elements with eccentric position 0.53 R, 2 elements with 0.65 R and 2 elements with 0.46 R, center angle of two group combined gas permeable brick being 180° and inner angle 30°. Production practice shows that after optimization it is available to decrease consumption of bottom blowing gas, increase bath stirring energy and decrease carbon-oxygen concentration product to 0.002 513 from original 0.002 674.

Material Index 120 t top and Bottom Combined Blown Converter, Bottom Blowing System, 3-dimensional Math Model, Process Optimization

转炉复合吹炼技术能有效改善熔池的搅拌,缩短钢水成分和温度的均匀时间,降低钢水吹炼终点氧含量,提高钢水收得率和降低铁合金消耗,在国内冶金行业得到了很大的发展^[1,2]。

顶底复吹转炉兼有顶吹易于控制成渣过程和底吹增大熔池搅拌强度的优点,转炉吹炼过程平稳,喷溅少,终点钢水氧含量、渣中氧化铁含量低,熔池成分、温度均匀,能有效地改善钢水的洁净度和稳定钢水成分,是节能降耗、扩大品种、提高产品质量的有效途径^[3]。

常规120 t转炉底吹系统设计参照VAI底吹模式,选择透气元件均布的方式,在国内外各大炼钢厂得到了普遍应用。但随着炼钢生产实践及循环经济理念的深入,转炉底吹系统也需进一步进行优化研究,以便能达到降低生产成本,提高经济效益和社会效益的目的。

以钢厂120 t转炉炉型为研究对象,建立三维Euler数学模型,研究了120 t转炉在透气元件不同偏心位置下的流场分布情况,找出透气元件的最佳偏心分布,并结合生产实践,利用副枪测定熔池成

分,得到优化前后的碳氧浓度积变化。

1 120 t 转炉底吹系统的数学模拟

120 t转炉透气元件原始参数为:转炉平均出钢量:120 t;最大出钢量:130 t。出钢温度1 560 ~ 1 650 °C;铁料消耗为1 080 kg/t_钢,其中冷料废钢及生铁块消耗~180 kg/t_钢,铁水消耗~900 kg/t_钢。

冶炼[N] ≥ 0.007%钢种时,采用全程供N₂制度;冶炼0.004% ≤ [N] ≤ 0.007%钢种时,采用Ar/N₂复合喷吹,其中Ar底吹时间约占全程1/3 ~ 1/2;冶炼[N] ≤ 0.004%钢种时,采用全程吹Ar制度。

目前常用的转炉底吹供气元件主要有透气砖、喷嘴、实心环缝式喷嘴3类。所模拟的原型120 t顶底复吹转炉原为8个透气元件(环缝式透气元件)均布方式,夹角为45°,偏心位置0.56 R(见图1a, R为转炉熔池半径)。生产实践表明,碳氧浓度积较高,达到0.002 674,明显高于理论计算值和其它大型钢厂碳氧浓度积指标,极大增加了铁损及底吹气体消耗,造成了炼钢生产其余工序的作业时间紧张和生产效益的降低。

2 控制方程和边界条件

数学模型的基本假设为:

(1) 忽略吹炼引起的熔池局部扰动, 钢水表面视为自由流动;

(2) 钢水循环流动的主驱动力为气泡的上升浮力;

(3) 转炉内的流体处理成均相介质, 而气液两相区与周围的循环流具有不同的密度值。

转炉内钢水流动可视为不可压缩流, 描述三维流体流动可用连续性方程、Navier-Stokes 方程及湍流模型 $k-\epsilon$ 方程来描述。

其边界条件为:

(1) 熔池表面。不考虑渣层, 则钢液直接与气相接触, 表面切应力很小, 可以忽略不计; 平行于熔池表面的速度分量和其它标量 (k, ϵ, ρ, C) 的梯度均为 0。

(2) 固体壁面。在固体壁面上, 对速度、压力和浓度可使用无滑移边界条件 (设为 0), 对 k 和 ϵ 设为 0。

(3) 两相区。气液两相区采用欧拉两相流模型, 气液两相是微元件内共存的连续流体。

3 计算结果对比及分析

三维 Euler 数学模型计算采用气量值 $Q = 0.05 \text{ m}^3 / (\text{min} \cdot \text{t})$, 转炉出钢量按 120 t 考虑, 同时透气元件为透气砖型, 内置 $\Phi 2 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 不锈钢钢管, 采用 Ar 常温 298 K 下的物性参数。

由于 120 t 转炉原型采取 8 个透气元件均布的形式, 图 2 直观地反映了整个转炉熔池的流场分布情况。气液两相区分布明显符合全浮力模型所描述的倒锥形结构, 熔池内存在两股大循环流和侧壁小循环流。钢水流动形成的漩涡有利于夹杂物的上浮、去除, 但侧壁的小循环流动对侧壁冲刷较大, 而且容易形成卷渣, 另外, 熔池中央形成的漩涡交界面是两股大循环流的汇流区, 尽管该区域为整个熔池的最大速度分布, 但由于动量的相互碰撞, 形成了能量的极大耗散, 搅拌动能不大, 极大影响熔池的温度、成分的快速均匀。若继续增大气量, 会增强搅拌动能, 促进熔池的温度、成分均匀化, 但易形成对炉壁的强烈冲刷及熔池不稳的状况, 影响炉况的稳定性。

图 1(b) 为优化后的转炉底吹透气砖布置形式, 将原先 8 个透气元件改为 6 个透气元件: 偏心位置 $0.53 R$, 2 个; 偏心位置 $0.65 R$, 2 个; $0.46 R$, 2 个;

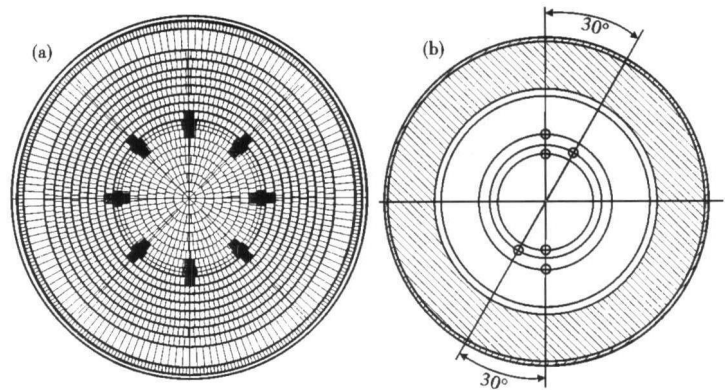


图 1 透气元件布置图: (a) 原型; (b) 优化
Fig. 1 Permeable elements layout: (a) original; (b) optimum

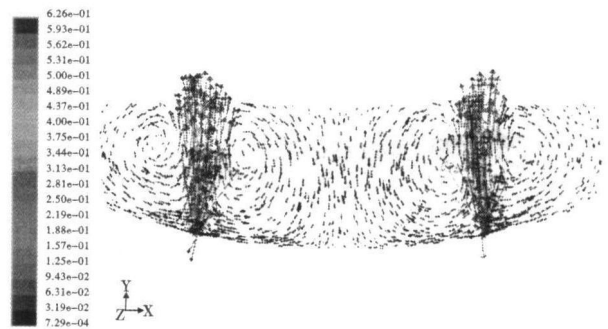


图 2 120 t 转炉原型纵截面流场分布
Fig. 2 Original distribution of liquid flow field at longitudinal section of 120 t converter

两组组合透气砖中心的夹角为 180° , 内部夹角为 30° 。图 3(a) 为可以明显看出偏心位置为 $0.46 R$ 、 $0.65 R$ 的透气元件纵向截面流场分布图, 图 3(b) 为偏心位置 $0.46 R$ 、 $0.53 R$ 的透气元件纵向截面流场分布图, 图 3(c) 为垂直于组合透气砖中心线的纵向截面流场分布图。

图 3 也验证了熔池两相区结构符合全浮力模型所描述的倒锥形, 熔池内存在对称的两个大循环流, 漩涡位置位于熔池约 $1/2$ 高度, 有利于夹杂物的上浮。图 3(a, b) 表明熔池内钢水空间区域分布均匀, 转炉中心没形成明显大循环流, 主要是由于相邻的 30° 夹角的透气元件对其影响, 改变了原有的大循环流对称布置, 这种非对称性流场充分加强了整个熔池的搅拌动能, 有利于熔池内钢水温度、成分的均匀性。由于图 3(c) 的纵向截面远离透气元件组, 气液两相区分布不明显, 但熔池内钢水速度值较大, 且形成两股大循环流有利于钢水温度、成分均匀。

优化后的单透气元件的透气量与原型保持一致, 即修改后的气量消耗为原转炉底吹系统用气量

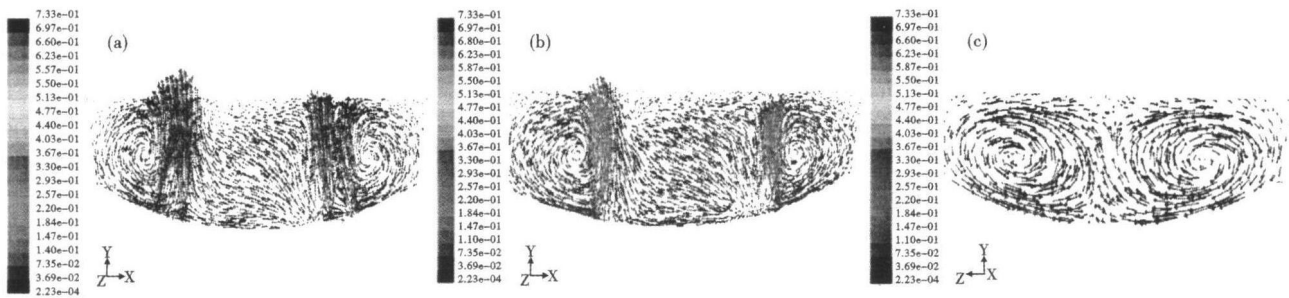


图3 120 t 转炉优化后的纵截面1(a),纵截面2(b)和纵截面3(c)的流场分布

Fig. 3 Optimum distribution of liquid flow field at longitudinal section 1 (a), section 2 (b) and section 3 (c), 120 t converter

的3/4。通过对转炉熔池原型和优化后的转炉熔池钢液加权平均速度值进行计算,原型转炉熔池内钢液加权平均速度值为0.030 67 m/s,优化后转炉熔池内钢液加权平均速度值为0.034 12 m/s,充分说明了优化后的熔池整体搅拌能力要明显强于原型,而且优化后的熔池流场分布比原型更合理。

根据120 t 转炉原型和优化后纵截面K动能分布,得出优化后的K动能分布值明显要大于原型,有50%~60%区域K动能值要达到原型的最大值25 kg/(m·s)。通过计算整个熔池的K动能的加权平均值可以发现,120 t 转炉底吹熔池原型的湍动能加权平均值为12.138 76 kg/(m·s),优化以后的转炉熔池湍动能加权平均值为48.321 17 kg/(m·s),充分说明了底吹透气元件优化设置后,熔池搅拌动能显著加强。

通过炼钢生产实践证明,优化后的转炉熔池碳氧浓度积达到0.002 513,达到了国内同类转炉冶炼的一流水平,提高了转炉炼钢技术水平,显著降低了炼钢厂的生产成本。

4 结论

(1) 生产实践中需结合冶炼钢种等实际情况选

择不同的底吹系统模式。

(2) 通过对底吹系统的优化设计能减少底吹气体消耗,提高转炉熔池的搅拌动能,有效降低碳氧浓度积。

(3) 随着转炉炉龄的增加,需注意对底吹透气元件位置及吹气制度的修正。

(4) 转炉底吹系统还需进一步研究,以建立适应不同炉型的底吹系统模型。

参考文献

- 1 Jung S M, Rhee C H, Min D J. Thermodynamic Properties of Manganese Oxide in BOF Slags. *ISIJ International*, 2002, 42(1): 63
- 2 Matti J L, Timo M J F, Esa O V. Splashing and Spitting Behavior in the Combined Blown Steelmaking Converter. *ISIJ International*, 2002, 42(9): 944
- 3 温良英, 周远华, 陈登福, 等. 复吹转炉熔池内流体流动的数值模拟. *重庆大学学报*, 2006, 29(1): 49

崔荣峰(1982-),男,硕士,工程师,炼钢工艺研究及数值计算。

收稿日期:2009-11-14

下 期 要 目

四流中间包气幕挡墙水模拟研究	唐海燕等
板坯结晶器内流场作用下钢液传热凝固的数值模拟	许长军等
不锈钢粉尘中低温预还原的实验研究	俞晓等
异形坯连铸充型凝固过程数值模拟	晋艳娟等
核电站反应堆压力容器用钢的研究与应用	李昌义等
100 t 电弧炉炉壁氧枪技术	丁于
国外钻杆产品发展动向	赵鹏等
热处理对耐热钢 X12CrMoWVNbN10-1-1 力学性能的影响	杨钢等
钒对微合金化重轨钢高温塑性的影响	刘霞等
CaF ₂ 和 B ₂ O ₃ 对中碳钢连铸结晶器保护渣物理性能的影响	张芳等