

转炉复吹过程渣滴分散相粒度及空间分布的水模型研究

陈 韧^{1,2} 罗志国¹ 杨春光¹ 邹宗树¹

(1 东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004; 2 辽宁科技学院冶金系, 本溪 117022)

摘要 通过800 mm高、熔池深度118 mm的水模型模拟了转炉的复吹过程。使用不同粒度级别的渣滴分散出现频率与其尺寸级别的比例关系 $|M_s|$ 参数和其空间分布均匀程度 $|K_s|$ 参数,研究了操作条件对渣滴分散粒度及空间分布的影响,并得出经验公式。结果表明,在顶吹流量20~40 m³/h和底吹流量0~1 m³/h的情况下,顶、底吹流量的增加有利于渣滴分散相的均匀分布。

关键词 转炉复吹水模型 分散相 粒度分布 空间分布

A Study of Water Model on Size and Space Distribution of Slag Dispersed Phase in Combined Blowing of Converter

Chen Ren^{1,2}, Luo Zhiguo¹, Yang Chunguang¹ and Zou Zongshu¹

(1 School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004;
2 Department of Metallurgy, Liaoning Institute of Science and Technology, Benxi 117022)

Abstract The converter combined blowing process was simulated by water model with 800 mm height and 118 mm bath depth. The effect of combined blowing operation parameters on size and space distribution of slag droplet dispersed phase has been studied by using parameter $|M_s|$ - proportional relationship between frequency occurrence of dispersed phase and its size, and parameter $|K_s|$ - degree of homogeneity of dispersed phase, and the concerned experimental formulas were got. Results showed that with top blowing rate 20~40 m³/h and bottom blowing rate 0~1 m³/h, to increase top, bottom blowing rate was favourable for uniform distribution of slag droplet dispersed phase.

Material Index Water Model for Combined Blowing of Converter, Disperse Phase, Size Distribution, Space Distribution

火法冶金过程绝大多数都是通过多相反应来实现的,且反应都是在相界面上进行,最典型的是液-液反应。在此类多相体系内,可将多相反应系统所涉及的相分为连续相和分散相,分散相在连续相中的分布,包括空间和尺寸分布,决定了渣-金界面面积,进而决定了反应的总速率^[1~4]。因此,定量地描述分散相在连续相中的分布就成为定量解析多相反应过程的前提。本实验利用水模型模拟转炉复吹过程,对渣滴分散相的粒度及空间分布进行研究。

1 实验设备及分析方法

1.1 实验设备

采用有机玻璃模型模拟反应器纵向断面,实验装置见图1。以油-水模拟渣-金,数码相机进行图像采集(分辨率为0.3527 mm×0.3527 mm/pixel),对得到的二维图像进行计算机处理,提取渣滴分散相数据。实验参数如下:水模型高800 mm、宽500 mm、厚50 mm,熔池深度为118 mm,气体压力0.4 MPa,采用4孔喷枪,喉口直径为6.3 mm,喉口角度12°,喉口极心圆直径23.3 mm。底吹供气元件采用对称布置,间距为120 mm。在80~170 mm范围内

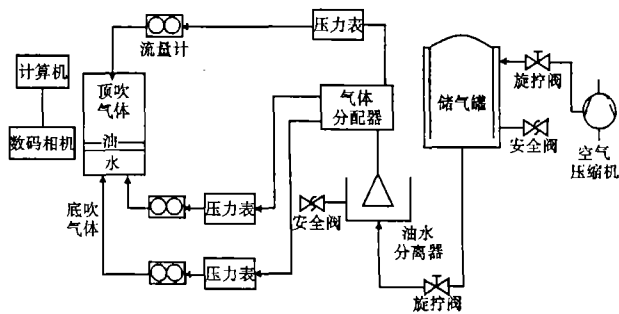


图1 实验装置图

Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

选取5个枪位 H ,20~40 m³/h内选取5个顶吹流量 Q_T ,0~1 m³/h内选取5个底吹流量 Q_B , (14~45)/118范围选取5个不同渣金厚度比Slag/Metal。

1.2 渣滴分散相粒度分布

实验得到图像可视为三维条件下的截面,渣滴分散相可视为在二维像素空间内的集簇。表1为 $H=80$ mm,Slag/Metal=14/118, $Q_T=20$ m³/h, $Q_B=0$ m³/h(H -枪位; S -分散相尺寸; M -熔池深度; Q_T -顶吹流量; Q_B -底吹流量)条件下渣滴分散相统计结果。系统内某一特定物理性质是按比例变化的^[5],

表 1 二维分散相个数与尺寸统计表

Table 1 Statistic of size and number of two dimensional disperse phase

S/pixel	a	A	S/pixel	a	A
1	85	196	10	3	13
2	27	111	11	1	10
3	34	84	12	1	9
4	13	50	13	2	8
5	7	37	14	1	6
6	6	30	16	1	5
7	4	24	17	1	4
8	4	20	25	1	3
9	3	16	27	1	2

注:枪位 $H = 80 \text{ mm}$, 渣金厚度比 (Slag/Metal) = 14/118, 顶吹流量 $Q_T = 20 \text{ m}^3/\text{h}$, 底吹流量 $Q_B = 0 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

因此簇的尺度分布可以用比例函数描述。表 1 中: S - 分散相尺寸(以像素为单位); a - 尺度为 S 的分散相个数; A - 尺寸大于等于尺度为 S 的分散相个数。将分散相的大小与出现频率的关系以对数坐标表示, 数学上这一关系可表述为:

$$\ln A = M_s \ln S \quad (1)$$

由斜率 M_s 可判断该条件下各粒度级别分散相的分布。如图 2 所示, $\ln A$ 与 $\ln S$ 呈线性关系, 即一定大小的分散相出现频率与其尺寸成比例。| M_s | 可反映此操作条件下渣滴的粒度分布, | M_s | 越大, 表示小粒度级别分散相比例越大。

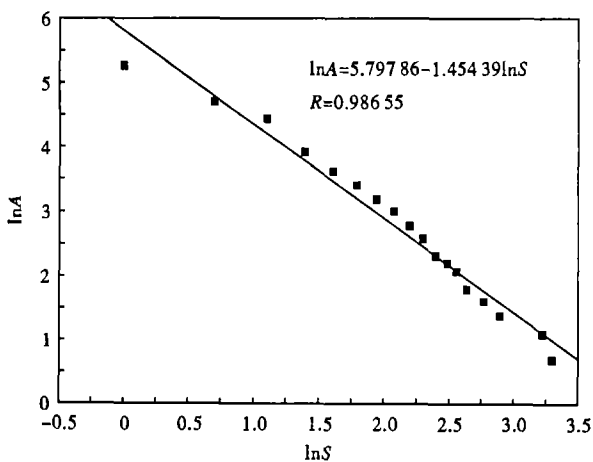


图 2 分散相尺寸 S 与尺寸 $\geq S$ 的分散相个数 A 间的对数关系
Fig. 2 Logarithm relation between disperse phase size S and number A of disperse phase, of which size $\geq S$

1.3 渣滴分散相空间分布

取油层上沿与流股中心线交点为坐标原点, 沿水平方向为 x 轴, 流股中心线为 y 轴, 将提取的分散相图像进行处理, 对于大于一个像素的分散相可视为质点, 该质点的坐标为 (x, y) , 并按 (2) 式进行平

均处理。

$$(x = \sum_{i=1}^n x_i/n, y = \sum_{i=1}^n y_i/n) \quad (2)$$

式中: n - 单个分散相所含像素点个数; (x_i, y_i) - 为单个分散相中所含像素点坐标。

由于操作条件不同, 分散相总个数及坐标差别很大, 因此须对其坐标进行无量纲处理。渣滴分散相横、纵坐标 x_s, y_s 分别进行如下无量纲处理:

$$[x'_s = (x_s - r)/(R - r), y'_s = y_s/h] \quad (3)$$

式中: x'_s, y'_s - 分别为渣滴无量纲横、纵坐标; r - 冲击坑半径; R - 水模型半径; h - 熔池深度。表 2 为操作条件下分散相无量纲横坐标统计结果, 图 3 为分散相无量纲分布回归过程。图 3 中 L - 分散相无量纲坐标范围; DL_r - 在该范围的个数占总个数的百分比; N - 在该范围的分散相总数; P - 大于等于该范围个数的百分比; K - 倒 S 型回归曲线曲率变化的平均值。| K | 值越大, 则表示分散相接近原点比例越多, 分散相越集中, 反之则分布趋于均匀。

表 2 分散相坐标百分比统计表

Table 2 Statistic of coordinate percentage of dispersed phase

L	N	DL_r	P
$0 < x'_m \leq 0.1$	18	0.028 94	1.000 0
$0.1 < x'_m \leq 0.2$	98	0.157 55	0.971 1
$0.2 < x'_m \leq 0.3$	118	0.189 71	0.813 5
$0.3 < x'_m \leq 0.4$	104	0.167 20	0.623 8
$0.4 < x'_m \leq 0.5$	72	0.115 76	0.456 6
$0.5 < x'_m \leq 0.6$	78	0.125 40	0.340 8
$0.6 < x'_m \leq 0.7$	105	0.168 81	0.215 4
$0.7 < x'_m \leq 0.8$	15	0.024 12	0.046 6
$0.8 < x'_m \leq 0.9$	3	0.004 82	0.022 5
$0.9 < x'_m \leq 1.0$	11	0.017 68	0.017 7

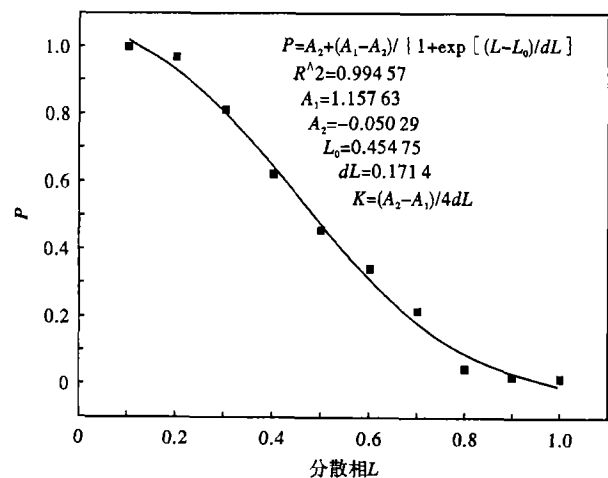


图 3 分散相无量纲空间坐标分布回归分析
Fig. 3 Regression analysis for dimensionless space coordinate distribution of dispersed phase

2 结果与分析

2.1 渣滴分散相粒度分布

如图 4(a)、(b) 示出渣滴粒度分布 $|M_s|$ (不同

粒度级别的渣滴分散相出现频率与其尺寸级别的比例关系) 与操作条件关系, 由渣滴分散相特征直径关系式^[6]:

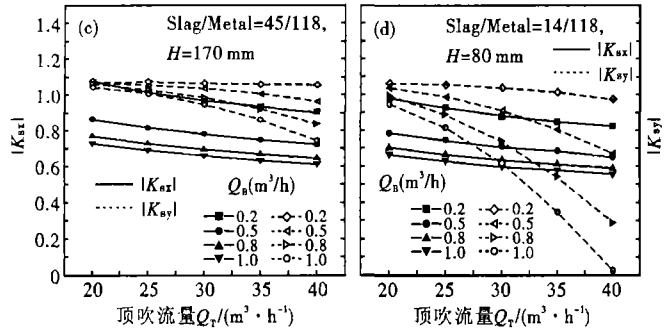
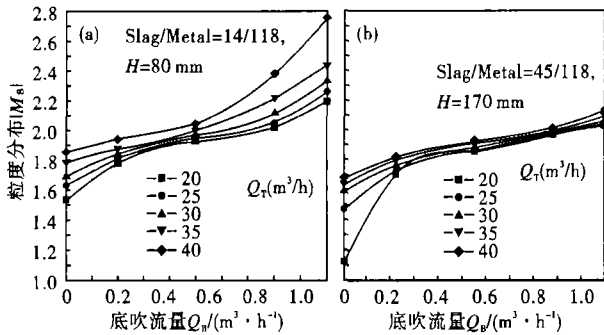


图 4 不同操作条件(渣金厚度比)底吹强度(a,b)和顶吹强度(c,d)对渣滴粒度分布 $|M_s|$ 的影响

Fig. 4 With different experimental conditions (slag/metal depth ratios) the effect of bottom blowing rate (a,b) and top blowing rate (c,d) on slag droplet size distribution $|M_s|$

$$d_T = \{6\sigma/[g(\rho_m - \rho_s) \cos\alpha]\}^{0.5} \quad (4)$$

式中: α -渣滴脱离母相速度与垂直方向的夹角; σ -界面张力/ $(N \cdot m^{-1})$; ρ_m -金属密度/ $(kg \cdot m^{-3})$; ρ_s -炉渣密度/ $(kg \cdot m^{-3})$; g -重力加速度/ $(m \cdot s^{-2})$ 。随冲击坑深度增加 α 减小。此外,渣滴分散相一经产生即受到熔池中横、纵向的拉应力和剪应力的作用^[6],当顶、底吹流量增加,则渣滴分散相被进一步破碎成更小尺度分散相的可能性增加,从而使 $|M_s|$ 值很大。

2.2 渣滴分散相无量纲空间分布

图 4(c)、(d) 为渣滴分散相无量纲横、纵坐标分布参数 $|K_{sx}|$ 、 $|K_{sy}|$ 与操作条件的关系。如图 4(c)、(d) 所示,随枪位 H 升高及渣金厚度比 Slag/Metal 增加,熔池搅拌减弱,渣滴分散相的生成速度及熔池环流速度降低,此时熔池环流速度降低为主要影响因素,渣滴分散相较集中。随 Q_b 增加熔池搅拌强烈,渣滴生成速度及环流速度增加,且环流速度的增加为主要影响因素,渣滴空间分布趋于均匀。

2.3 复吹操作对渣滴分散相粒度和空间分布的影响

复吹条件下各粒度级别分散相出现频率与其尺寸级别存在比例关系,渣分散相粒度分布与其尺度的比例关系 $|M_s|$ 与实验操作条件之间的经验关系式为:

$$|M_s| = 0.243 \{1 + \tan[4.1071 Q_T^{(0.0880 Q_b + 0.1003)} / [(Slag/Metal)^{0.03625} H^{0.0600}] - 2.3815]\} + 1.9551$$

复吹条件下渣分散相横、纵空间坐标分布与操

作条件的经验关系为:

$$|K_{sx}| = 15.09 \{1 - \exp[-0.0635 (Slag/Metal)^{0.0133} H^{0.108} Q_T^{-0.2647} Q_b^{-0.2468}]\}$$

$$|K_{sy}| = 1.069 \{1 - \exp[6.4407(1 - 1.9355 (Slag/Metal)^{0.0083} H^{0.2048} Q_T^{-0.4167} Q_b^{-0.1974})]\}$$

操作条件: $80 \text{ mm} \leq H \leq 170 \text{ mm}$, $20 \text{ m}^3/h \leq Q_T \leq 40 \text{ m}^3/h$, $0 \leq Q_b \leq 1 \text{ m}^3/h$, $0.1186 \leq Slag/Metal \leq 0.3814$ 。

3 结论

通过参数 $|M_s|$ 和 $|K_s|$ 研究操作条件对渣滴分散相粒度和空间分布的影响,得出该影响的经验关系式,表明顶、底吹流量的增加有利于渣滴分散相的均匀分布。

该研究项目获 2006 年教育部科技进步二等奖

参考文献

- 徐文派. 转炉炼钢学. 北京:冶金工业出版社,1988
- 郑沛然. 炼钢学. 北京:冶金工业出版社,1994
- 舍克里·J. 冶金中的流体流动现象. 彭一川,徐匡迪,樊养颐译. 北京:冶金工业出版社,1985
- 佩尔克 R D. 氧气顶吹转炉炼钢. 邵象华,楼盛赫译. 北京:冶金工业出版社,1980
- Kaye B H. 彤形漫步. 徐新阳,康雁,陈旭,等译. 沈阳:东北大学出版社,1994
- 奥特斯·F. 钢冶金学. 倪瑞明,张圣弼,项长祥译. 北京:冶金工业出版社,1997

陈 韧(1970-),男,博士,副教授,东北大学国内访问学者,1992年东北工学院毕业,从事冶金过程分散相的分布及行为研究。

收稿日期:2007-06-26