

## 300 t 转炉水力模型实验研究

刘竹林<sup>1</sup> 高泽平<sup>1</sup> 贺志宏<sup>2</sup>

(1 湖南工业大学冶金工程系, 株洲 412000; 2 湘潭钢铁集团有限公司, 湘潭 411101)

**摘要** 以1:13水力模型模拟研究300 t转炉冶炼时,氧枪供氧量、枪位等工艺因素对转炉熔池的搅拌、飞溅、穿透深度的影响。水模型实验结果表明:当弗鲁德准数控制在113.1,枪位在0.167 m(相当于300 t转炉的枪位2.17 m)时,搅拌均匀时间短,吹炼时飞溅少;而且较浅的熔池冲击深度就可以达到良好的搅拌效果,有利于减少对炉底的冲击。

**关键词** 转炉 水力模型 吹炼

## Test and Study of Water Model Simulation for 300 t Converter

Liu Zhulin<sup>1</sup>, Gao Zeping<sup>1</sup> and He Zhihong<sup>2</sup>

(1 Department of Metallurgical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412000;  
2 Xiangtan Iron & Steel Group Co Ltd, Xiangtan 411101)

**Abstract** Effect of process factors oxygen supply rate and lance level on bath stirring, spitting and penetrating depth for 300 t converter melting has been simulated and studied by 1:13 water model. The water model test results showed that as Fr was controlled within 113.1 and lance level was maintained at 0.167 m (corresponding 300 t converter lance level 2.17 m), mixing time of bath reduced, spitting decreased during blowing, and better bath stirring effect was got with shallow penetrating depth to be available to decrease impact strength on furnace bottom.

**Material Index** Converter, Water Model, Blowing

通过水力模型模拟实验,研究了300 t转炉冶金过程中氧枪的供氧量、枪位等因素对熔池的搅拌强度、飞溅量和穿透深度的影响。

### 1 实验原理

相似条件:为使模型与原型的流体运动规律相似,除应满足几何相似外,还须保证它们之间的动力相似<sup>[1]</sup>。

该实验以300 t转炉为原型,以1:13的比例得到模型。要使模型与原型(实物)动力基本相似,则应使 $(Fr)_m = (Fr)_p$ ,即:

$$Fr = \frac{\rho'_g u_0'^2}{\rho'_l g d_0'} = \frac{\rho_g u_0^2}{\rho_l g d_0} \quad (1)$$

式中: $Fr$ -弗鲁德(Froude)准数; $\rho'_g, \rho_g$ -原型与模型的射流密度; $\rho'_l, \rho_l$ -原型与模型熔池中液体的密度; $u'_0, u_0$ -原型与模型射流在喷口处的速度; $d'_0, d_0$ -原型与模型喷头出口直径; $g$ -重力加速度。

由(1)式可知:

$$u'_0 = \left( \frac{\rho_g}{\rho'_g} \cdot \frac{\rho_l}{\rho'_l} \cdot \frac{d_0}{d'_0} \right)^{1/2} \cdot u_0 \quad (2)$$

模型的气流量: $Q_m = \frac{\pi}{4} d_0^2 u_0$

将(2)式代入: $Q_p = \frac{\pi}{4} d_0'^2 u_0'$ ,得

$$Q_p = \frac{\pi}{4} d_0'^2 \left( \frac{\rho_g}{\rho'_g} \cdot \frac{\rho_l}{\rho'_l} \cdot \frac{d_0}{d'_0} \right)^{1/2} \cdot u_0 \quad (3)$$

则利用(3)式可以推出原型与模型动力相似时模型中的气流量。且根据几何相似可得:

$$u_0 = \frac{Q_m}{0.000\ 098\ 4} \quad (\text{m/s})$$

#### 1.1 氧气射流对熔池的穿透深度

根据穿透深度的函数式进行因次分析,可得到下面的相似准数方程:

$$\frac{h}{d_0} = K \left( \frac{H}{d_0} \right)^\alpha \left( \frac{\rho_g u_0^2}{\rho_l g d_0} \right)^\beta \quad (4)$$

式中: $K, \alpha, \beta$ -由模型实验确定的常数; $H$ -模型熔池穿透深度; $h$ -模型氧枪高度。

#### 1.2 熔池搅拌强度及搅拌均匀时间

根据钢液搅拌能力与混匀时间的关系<sup>[2]</sup>,对与搅拌强度有关的函数式进行因次分析,可得到搅拌强度准数方程:

$$\frac{u_0 T}{d_0} = K' \left( \frac{H}{d_0} \right)^\alpha \left( \frac{\rho_g u_0^2}{\rho_l g d_0} \right)^\beta \quad (5)$$

式中:  $K', \alpha', \beta'$  - 根据模型实验确定的常数;  $T$  - 搅拌均匀时间。

### 1.3 喷溅强度

喷溅强度 ( $S$ ) 是按熔池液体在单位时间内喷溅到转炉高度的重量来衡量。在忽略表面张力的影响后, 对喷溅强度有关的各因素, 应用因次分析可得准数方程:

$$\frac{S}{d_0^2 u_0^2 \rho_g} = K'' \left( \frac{H}{d_0} \right)^{\alpha''} \left( \frac{\rho_g u_0^2}{\rho_l g d_0} \right)^{\beta''} \quad (6)$$

式中:  $K'', \alpha'', \beta''$  - 根据模型实验确定的常数。

## 2 实验方法及设计

### 2.1 模型实验装置

实验装置有: 透明转炉模型、喷枪、喷枪升降支架、转子流量计、压力表、稳压罐、空压机、阀门、滤纸、溶液注入器、电导电极、电导仪、电子电位计<sup>[3]</sup>。

300 t 转炉原型与模型的基本几何尺寸 (内型参数) 如表 1。

表 1 转炉原型和模型基本参数/mm

Table 1 Basic parameters of converter prototype and model /mm

项目	炉膛有效高度 $H_{\text{内}}$	熔池内径 $D$	熔池深度 $H_0$	炉口直径 $d$
原型	10 458	6 740	1 954	3 500
模型	800	530	150	270

### 2.2 实验方法

以水模拟钢液, 以空气模拟氧气。在穿透深度测定过程中, 当气流量达到稳定后利用标尺测出穿透深度并记录。

在实验模型装置熔池的下部装置电导电极, 实

验时向熔池液面注入浓度为 8% 的 KCl 溶液, 每次 30 ml, KCl 溶液在熔池中的混均时间是根据电导电极输出的电位差变化达到稳定的时间来确定。

电导电极输出的电位差的变化是用电子电位计测定的。本实验采用的电子电位计, 在实验过程中将它调整为 1.2 s/mm, 对电位差的变化进行记录。

实验利用滤纸对转炉的喷溅量进行测量, 测定前先测出所选用滤纸的重量, 然后把滤纸放置在转炉炉口, 测定 3 min 内飞溅到滤纸上水的重量, 即可求出单位时间的喷溅量。

## 3 实验结果及讨论

### 3.1 穿透深度与弗鲁德准数及枪高的关系

进行多元线性回归, 得到准数方程:

$$\frac{h}{d_0} = 14.31 \left( \frac{H}{d_0} \right)^{0.64} \left( \frac{\rho_g u_0^2}{\rho_l g d_0} \right)^{0.38} \quad (7)$$

根据相似原理, 利用式 (7) 即可应用于实际转炉上不同的  $Fr$  数即相应的顶吹氧量及枪高与吹透深度的关系。水模实验结果见图 1(a)。

由图 1(a) 可见, 随着枪位从 0.220 m 降至 0.116 m, 当  $Fr = 93.5$  时, 其穿透深度由 3.5 cm 增加到 5.5 cm, 当  $Fr = 102.7$  时, 其穿透深度由 4.2 cm 增加到 6.0 cm, 当  $Fr = 113.1$  时, 其穿透深度由 4.2 cm 增加到 6.3 cm, 当  $Fr = 124.6$  时, 其穿透深度由 5.8 cm 增加到 8.1 cm。由此可见, 当顶吹氧量较大时, 随着枪位的降低, 穿透深度增加得很快。

在  $Fr$  高于 124.6 时, 喷枪的高度对于氧气射流与熔池的作用将很敏感, 因而较难稳定控制熔池内的冶金过程。另外在顶吹氧量过大时, 喷枪高度的少许降低都将导致吹透深度的急剧增加, 而使熔池

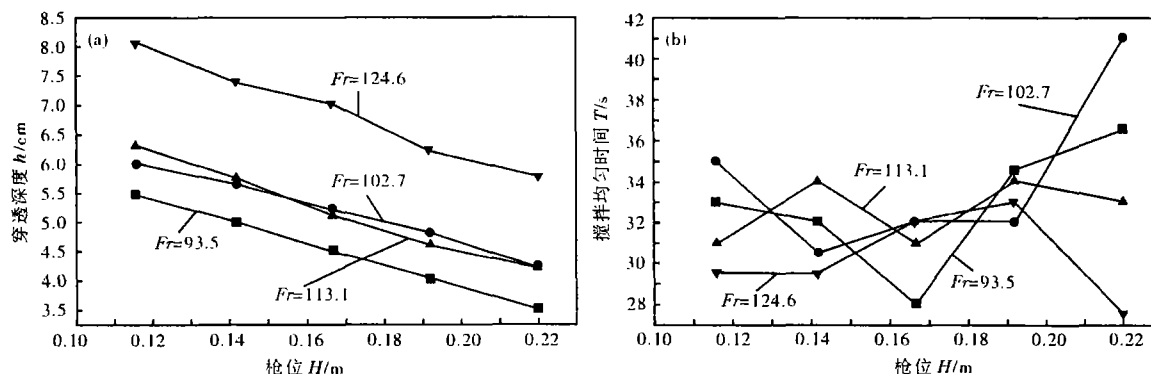


图 1 (a) 穿透深度  $h$  与  $Fr$  及枪位  $H$  的关系; (b) 搅拌均匀时间  $T$  与  $Fr$  及枪位  $H$  的关系

Fig. 1 (a) Relation between penetrating depth  $h$  and lance level  $H$  with different  $Fr$ ; (b) relation between mixing time  $T$  and lance level  $H$  with different  $Fr$

内的钢水被击穿,以至损害炉底的耐火材料。因此,应避免出现顶吹氧量过大的现象。

### 3.2 搅拌均匀时间与弗鲁德准数及枪高的关系

进行多元线性回归,得到准数方程:

$$\frac{u_0 T}{d_0} = 3.26 \left( \frac{H}{d_0} \right)^{0.29} \left( \frac{\rho_g u_0^2}{\rho_l g d_0} \right)^{-0.031} \quad (8)$$

根据相似原理,利用(8)式即可应用于实际转炉上不同的  $Fr$  数即相应的顶吹氧量及枪高与搅拌均匀时间的关系。水模实验结果见图 1(b)。

由图 1(b) 及(8)式可见,搅拌均匀时间与枪高的变化有着明显的关系。如图 1(b),  $Fr$  93.5 时,随着枪位的升高,搅拌均匀时间先长后短然后又变长,在枪位  $H$  0.167 m,搅拌均匀时间最短,当低于或高于此枪位时,搅拌均匀时间都延长。在  $Fr$  102.7 线枪位  $H$  0.142 m 时,搅拌均匀时间最短,基本与  $Fr$  93.5 线的变化相同。而  $Fr$  113.1 线的变化则与以上两线不同,它的变化趋势是随着枪位的升高,搅拌均匀时间先由短变长然后又变短,其变化随枪位的升高而呈现波动。在枪位  $H$  0.167 m 搅拌均匀时间最短。 $Fr$  124.6 线的走势与其余 3 线相比较又有所不同,它的搅拌均匀时间是由先短后长然后又变短。在  $H$  0.116 m 处搅拌均匀时间最短。

纵观 4 条曲线的变化可知,当  $Fr$  为 113.1 时,搅拌均匀时间的变化呈现出明显的不规则的跳动; $Fr$  124.6 线的变化又很难确定搅拌均匀时间的最小值。即  $Fr$  113.1 和  $Fr$  124.6 两条线的规律难以掌握。而当  $Fr < 113.1$  时,搅拌均匀时间的变化规律,基本都是先长后短然后又变长,并在某一处达到最短。由此可以推断在实际转炉上,当  $Fr > 113.1$  后,要用枪位来控制熔池内的冶金反应过程极为困难。因此,转炉的  $Fr$  一般不应超过 113.1。

### 3.3 喷溅强度与弗鲁德准数及枪高的关系

进行多元线性回归,得到准数方程:

$$\frac{S}{d_0^2 u_0^2 \rho_g} = 127.7 \left( \frac{H}{d_0} \right)^{0.12} \left( \frac{\rho_g u_0^2}{\rho_l g d_0} \right)^{0.29} \quad (9)$$

根据相似原理,利用(9)式即可应用于实际转炉上不同的  $Fr$  数即相应的顶吹氧量及枪高与喷溅强度的关系。水模实验结果见图 2。

从图 2 分析不同  $Fr$  的 4 条曲线中的喷溅强度随着枪位升高的变化规律。 $Fr$  102.7、113.1、124.6 这 3 条曲线的变化规律,都是喷溅强度随着枪位的升高而增加,在达到一个最高点后,又随着枪位的升

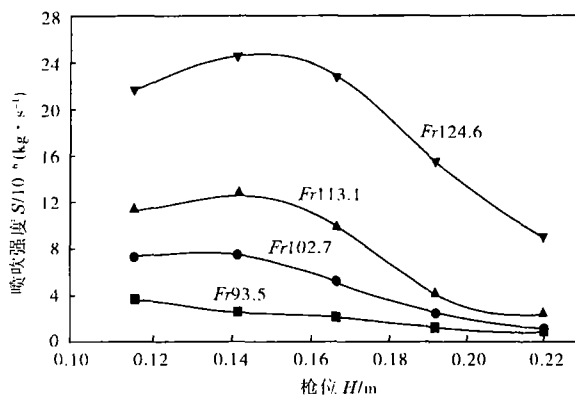


图 2 喷吹强度  $S$  与  $Fr$  及枪位  $H$  的关系

Fig. 2 Relation between oxygen blowing rate  $S$  and lance level  $H$  with different  $Fr$

高而减少。其下降要比上升明显得多, $Fr$  93.5 线是随着枪位的上升喷溅量一直下降。但从总体变化情况看,这 4 条曲线的变化规律基本相同。

从总的趋势看,在枪位较高时,喷溅强度较低。4 条曲线相比较可以看出,随着  $Fr$  的增加,喷溅强度也增加,而且在较高的枪位时,其喷溅强度的差别更大。由此可见,从减少喷溅强度的角度考虑,在转炉实际生产中采用高的供氧压力是不利的。

## 4 结论

(1)  $Fr$  应在 113.1 以下(即在实际转炉中  $Q_p = 32.74 \text{ m}^3/\text{h}$ ),否则压力过高会使冶金反应不易控制;同时喷溅过多易造成氧射流击穿钢水而损坏炉底耐火材料。

(2) 在  $Fr$  小于 113.1 的范围内选择适当的氧枪高度,使搅拌均匀时间最短。根据图 1(b) 所示,当  $H = 0.167 \text{ m}$ (即在实际转炉中枪位为 2.17 m) 时,此枪位在不同的氧压下搅拌均匀时间均较短。此时,喷溅量及穿透深度也较小。

### 参考文献

- 金友林,王建军,周 俐. 50 t 复吹转炉溅渣护炉水模试验研究. 炼钢, 2004, 20(5): 47
- Nakanishi K, Fujii T, Szekely J. Ironmaking and Steeling, 1995, 2: 193
- 倪红卫,喻淑仁,邱玲慧. 90 t 复吹转炉水模实验研究. 炼钢, 2002, 18(3): 39

刘竹林(1965-),男,硕士研究生,副教授,从事钢铁冶金研究。

收稿日期:2006-09-26