

深插入浸罩 CAS 钢包流场混合特性的水模型研究

干磊 何平

(钢铁研究总院冶金工艺研究所,北京 100081)

摘要 按照 110 t CAS 钢包 1/6 的水模型,研究了浸罩深度(熔池液面深度 0~20%)和直径(钢包底部直径的 0.4~0.7)对熔池混匀时间的影响。结果表明,随着浸罩深度和直径的增加,罩内的循环流增强,在深插入浸罩(熔池液面深度的 20%)条件下,钢包内流场发生显著变化,浸罩内形成了明显的循环流。通过无因次分析,得出

底吹气量 Q 和浸罩深度 H 对混匀时间 τ 影响程度的经验公式 $\frac{\tau - \tau_0}{\tau} = 3.13 Q^{-0.66} \left(\frac{H}{H_L}\right)^{1.56}$ 。

关键词 CAS 精炼 水模型 浸罩深度 流场 混匀时间

Study of Water Model on Mixing Characteristics of Flow Field in CAS Ladle with Deep Inserting Snorkel

Gan Lei and He Ping

(Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The effect of inserting depth (0~20% depth of bath to surface) and diameter (0.4~0.7 of ladle bottom diameter) of snorkel on mixing time of bath has been studied by water model of 1/6 of 110 t CAS ladle. Results showed that with increasing depth and diameter of snorkel the circulated flow in snorkel increased and with deep inserting snorkel (20% depth of bath to surface) the flow field in ladle varied distinctly and the circulated flow in snorkel formed obviously. The experimental formula for expressing the effect of bottom gas amount Q and depth of inserting snorkel H on mixing time $\tau - (\tau - \tau_0)/\tau = 3.13 Q^{-0.66} (H/H_L)^{1.56}$ is obtained by free factors analysis.

Material Index CAS Refining, Water Model, Depth of Inserting Snorkel, Flow Field, Mixing Time

有关 CAS(Composition Adjustment by Sealed Argon Bubbling) 钢包精炼的研究基本是在浸罩插入深度较浅(小于熔池液面深度的 10%)情况下进行的^[1-4], 本实验以 110 t CAS 钢包为原型建立水力模型,重点研究了深插入浸罩下 CAS 钢包的混合特性。

1 研究方法

以 110 t CAS 钢包为原型按照 1:6 建立有机玻璃水模型。模型的尺寸满足几何相似,底吹气量的大小满足动力相似。底吹气量的大小由模型与原型的修正佛鲁德准 Fr' 相等计算得到:

$$Q_m = \sqrt{\left(\frac{d_m}{d_p}\right)^4 \frac{H_{L,m} \rho_{l,m} \rho_{g,p0} P_0 + \rho_m g H_{L,m} T_p}{H_{L,p} \rho_{l,p} \rho_{g,m0} P_0 + \rho_p g H_{L,p} T_m}} \cdot Q_p \quad (1)$$

式中: Q - 气体体积流量; d - 喷嘴直径; H_L - 熔池深度; ρ_l, ρ_g - 分别为液体和气体的密度; g - 重力加速度; P_0 - 大气压; T - 热力学温度; m, p - 分别表示模型、原型参数。

钢包内流场的研究是利用纸屑作为示踪剂,在

片光源下观察和拍照;向浸罩内的熔池中加入一定量的饱和食盐水,通过测定电导率的变化得到混匀时间。表 1 参数中 R 为钢包底部半径, r 为喷嘴距钢包底部中心的距离。

表 1 水模型实验参数

Table 1 Parameters for water model test

项目	参数
钢包底部直径 D_L /mm	450
熔池深度 H_L /mm	500
钢包锥度 α	1.52°
底吹位置 r	0, 0.15R, 0.33R
浸罩深度 H	0, 0.04 H_L , 0.1 H_L , 0.15 H_L , 0.2 H_L
浸罩直径 D	0.4 D_L , 0.51 D_L , 0.59 D_L , 0.7 D_L

2 实验结果与分析

2.1 钢包内流场的影响因素

2.1.1 浸罩深度

图 1 可见,当 $H/H_L = 0.2$ 即深浸罩深度时,在浸罩内部存在强烈的循环流,而在浸罩下方的钢包内的循环流很弱,靠近包壁处的钢水有向上流动的趋势,这与浸罩较浅时有很大区别。其原因是由于深浸罩时熔池中的水平流完全被浸罩阻挡而沿着浸罩

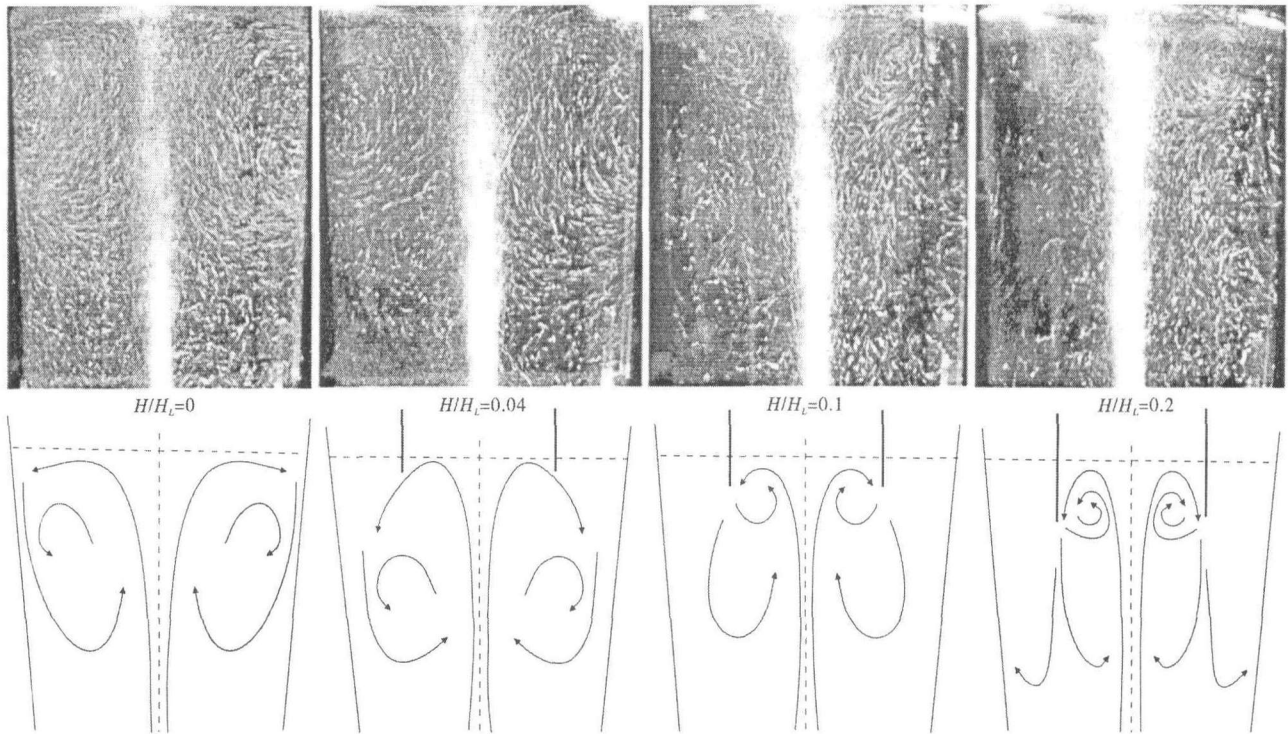


图 1 不同浸罩深度下的流场照片(上)和示意图(下), $D/D_L = 0.59$

Fig. 1 Photos (upper) and schematic (lower) of flow field with different depth of inserting snorkel, $D/D_L = 0.59$

壁向下运动,在向下运动过程中,一部分钢水被上升的气泡抽引而向气液两相区运动形成循环流,而另一部分钢水在向下运动过程中,则向钢包壁方向运动形成了沿着钢包壁向上的流动。

2.1.2 浸罩大小

图 2 可见,深浸罩深度时不同的浸罩直径下钢包内的流场基本上是相似的,大致可以分为浸罩内部的小循环流、浸罩下方向流向钢包中心的较大一些的循环流和沿着钢包壁向上的流动 3 个部分。随着浸罩直径的增加,浸罩内部的水平流可以得到较

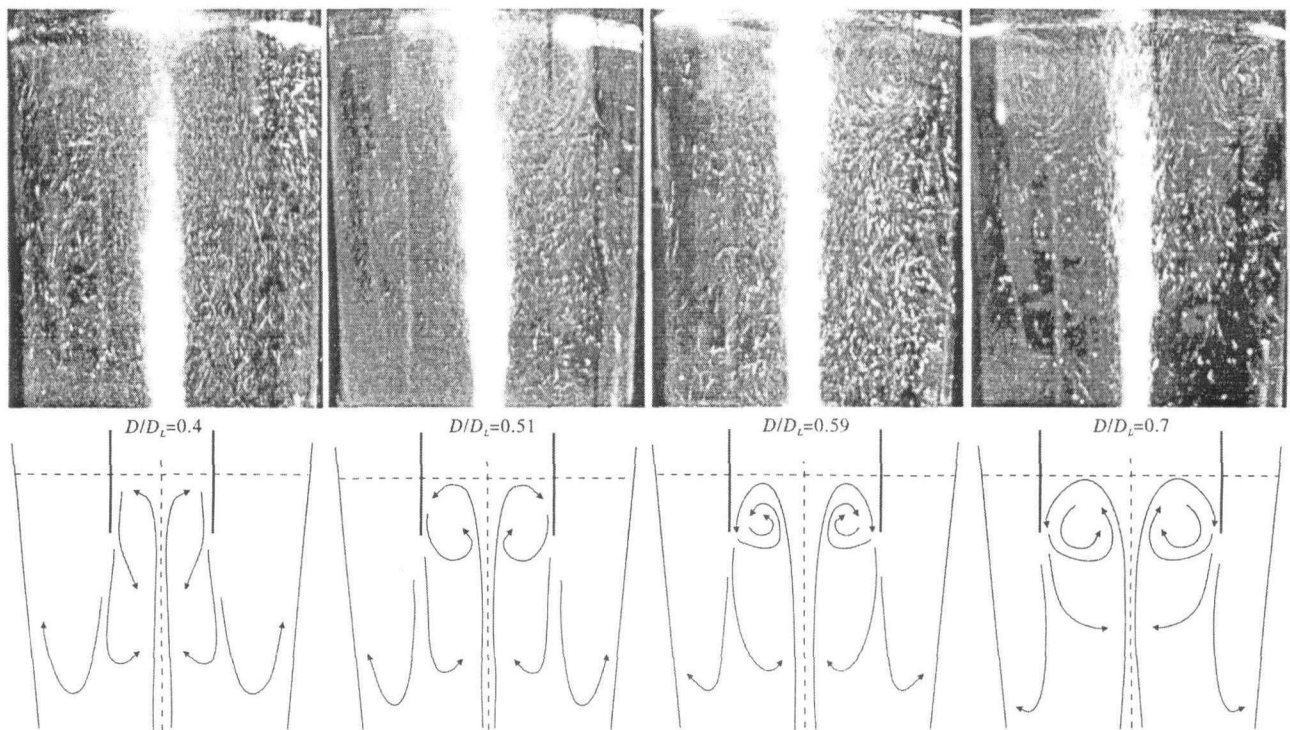


图 2 不同浸罩大小下的流场照片(上)和示意图(下), $H/H_L = 0.2$

Fig. 2 Photos (upper) and schematic (lower) of flow field with different snorkel diameter, $H/H_L = 0.2$

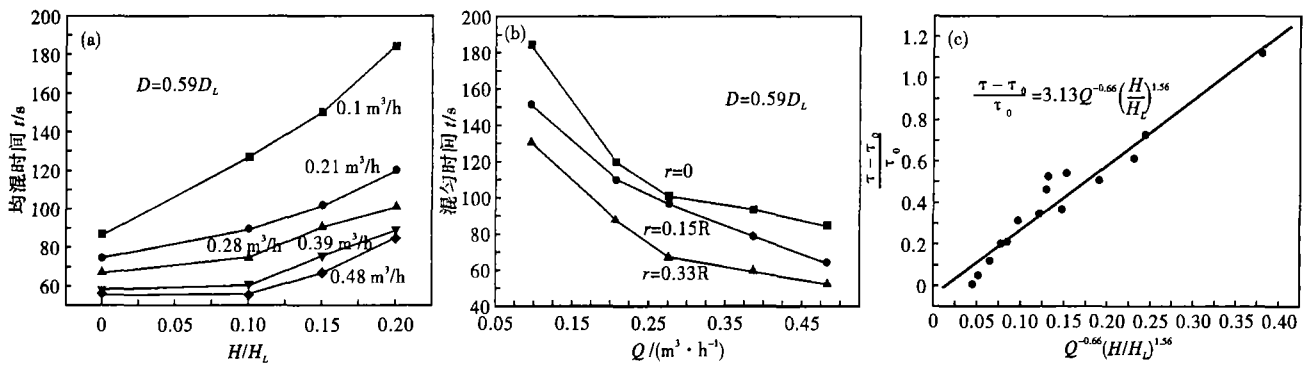


图 3 浸罩插入深度(a)、底吹位置(b)对混匀时间的影响;气量和插入深度对混匀时间影响的回归分析(c)

Fig. 3 Effect of depth of inserting snorkel (a) and nozzle bottom location (b) on mixing time; regression analysis for effect of gas amount and depth of inserting snorkel on mixing time (c)

好的发展,因此浸罩内的循环流变强,熔池中搅拌强烈的区域向浸罩内集中,这也导致浸罩下方循环流和沿着钢包壁向上的流动变弱。

2.2 熔池混匀时间的影响因素

2.2.1 浸罩深度和直径

从图 3(a)中可以看出总体趋势是混匀时间随着插入深度的增加而变长,当浸罩深度较深(大于熔池深度 10%)时,随着插入深度的增加,熔池的混匀时间有很大的延长,这样的结果与流场的研究结果是相一致的。从图 3(a)还可以看出,在高流量条件下,浸罩深度对混匀时间的影响相对较小。

随着浸罩直径增加熔池混匀时间变长,但当直径增大到一定值时,混匀时间呈现缩短的趋势,这说明存在一个使得混匀时间最长的浸罩直径,这所对应的是中等大小的浸罩(本实验中为 $D=0.59D_L$)。

2.2.2 底吹位置

图 3(b)为 CAS 底吹位置对混匀时间的影响。在实际的 CAS 操作中,浸罩中心应与底吹透气砖位于同一轴线上,以避免钢水对某一侧浸罩的冲刷过强,当浸罩直径一定时,就将底吹透气砖的布置半径 r 限制在一定范围内,即要求满足 $r + D/2 < R$ 。

2.3 无因次经验表达

在实际的 CAS 精炼操作中,浸罩直径和钢包底吹位置都是固定的,因此影响熔池混合特性的参数主要是底吹气量和浸罩深度。浸罩对混匀时间的影响即可用(2)式表达:

$$\frac{\tau - \tau_0}{\tau_0} = K \left(\frac{Q^2}{gH_L^3} \right)^a \left(\frac{H}{H_L} \right)^b \quad (2)$$

式中: τ - 有浸罩时的混匀时间; τ_0 - 无浸罩时的混匀时间; Q - 底吹气量; H - 浸罩插入深度; H_L - 钢包内液面深度; g - 重力加速度。

在本实验中, H_L 是不变的, g 为常数,故式(2)

可以简化为:

$$\frac{\tau - \tau_0}{\tau_0} = KQ^a \cdot \left(\frac{H}{H_L} \right)^b \quad (3)$$

将实验数据按照式(3)进行回归,其结果如图 3(c)所示。实验数据具有良好的线性关系,相关度 $R=0.968$ 。回归得到 $K=3.13$,因此改变实验条件下底吹气量和浸罩插入深度对混匀时间的影响关系式为:

$$\frac{\tau - \tau_0}{\tau_0} = 3.13Q^{-0.66} \left(\frac{H}{H_L} \right)^{1.56} \quad (4)$$

3 结论

(1)在深浸罩条件下整个熔池的混匀情况很差;但浸罩内部搅拌很强烈,能为渣钢反应创造了非常好的动力学条件。

(2)深浸罩深度时随浸罩直径的增加,浸罩内的循环流加强。

(3)考虑实际生产操作中的底吹气量 Q 和浸罩深度 H ,浸罩对混匀时间影响程度的经验表达式为

$$\frac{\tau - \tau_0}{\tau_0} = 3.13Q^{-0.66} \left(\frac{H}{H_L} \right)^{1.56}。$$

参考文献

- 1 Pan Yuhua, Guo Diancai, Ma Jianjun, et al. Mixing Time and Fluid Flow Pattern of Composition Adjustment by Sealed Argon Bubbling with Ladles of Large Height/Diameter Ratio. ISIJ International, 1994, 34(10):794
- 2 尹弘斌,金山同. CAS 法钢包内钢液混匀时间的测定与分析. 化工冶金, 1994, 15(3):202
- 3 乐可襄,周云,李杰,等. CAS-OB 钢包内钢水流场和均匀混合时间. 钢铁研究学报, 2006, 18(2):6
- 4 Zhou Yun, Dong Yuanchi, Wang Haichuan, et al. Mathematical Simulation of Flow Phenomena in CAS-OB Refining Ladle. Journal of Iron and Steel Research International, 2003, 10(4):8

千磊(1983-),硕士研究生,2005年东北大学毕业,精炼过程新技术开发。

收稿日期:2007-07-02