

板坯结晶器流场的水模型实验和数值模拟

于海岐^{1,2} 王波² 王宝峰² 麻永林²

(1 鞍钢技术中心, 鞍山 114009; 2 内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010)

摘要 按 1:2 比例, 通过多普勒激光测速仪(LDV)测试了水口插入深度 130 ~ 170 mm、水口侧孔倾角 $-30^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 时 640 mm × 90 mm 水模型结晶器的流场, 并用 FLUENT 软件进行了数值模拟。结果表明, 浸入式水口插入深度和水口侧孔倾角增大, 有利于稳定钢液自由液面的波动, 但增加了下流股的冲击深度, 大量热钢液下流, 不利于夹杂物上浮。

关键词 板坯结晶器 水模型 流场 数值模拟

Water Model Test and Numerical Simulation of Flow Field in Slab Concasting Mold

Yu Haiqi^{1,2}, Wang Bo², Wang Baofeng² and Ma Yonglin²

(1 Technology Center, Anshan Iron and Steel Group, Anshan 114009;

2 School of Material and Metallurgy, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

Abstract According to 1:2 ratio, the flow rate in 640 mm × 90 mm water model mold with nozzle submerged depth 130 ~ 170 mm and outflow inclination of nozzle $-30^{\circ} \sim 10^{\circ}$ was tested by Laser Doppler Velocimetry (LDV), and its numerical simulation was carried out by FLUENT software. The results showed that increasing nozzle submerged depth and outflow inclination of nozzle were available to decrease the fluctuation of liquid free surface, but were not favourable to inclusion upfloating due to increasing impact depth of down stream and mass hot stream downflow.

Material Index Slab Mold, Water Model, Flow Field, Numerical Simulation

1 实验方案

1.1 水模型的建立

在连铸结晶器内, 由浸入式水口喷入的注流特征为有限空间内的湍流射流, 在结晶器内产生的回流为复杂的湍流流动, 这时控制运动状态的主要因素是惯性力和重力, 因此实体与模型的相似可用佛鲁德准数 F_r 相等来表示, 此时几何相似可选取任意比例。根据实验现场条件的限制, 拟订模型比例为 1:2, 即模拟试验选取模型: 实物 = $\lambda = 1:2$, 则由佛鲁德准数^[1,2] 得到模型速度 V' 与实际速度 V 的相似比和流量相似比(模型流量 Q' /实际流量 Q)。

实验以钢厂的结晶器为原型, 由 1:2 的比例算得模型尺寸为: 结晶器断面 640 mm × 90 mm; 结晶器长度 1 500 mm; 采用浸入式水口, 其内外径分别是 24 mm 和 45 mm。所有模型均由有机玻璃制作。为了减小模型结晶器出口形状对其内流场的影响, 结晶器模型的长度比实际长度增长 600 mm, 而且还增设了置衡器。根据实验条件限

制, 选取模拟拉速为 1.0 m/min, 由式(3)得出模型水口流量为 2.444 m³/h。

1.2 实验内容

实验装置水路连接示意图如图 1。实验按表 1 所示的实验参数进行测试。为了验证实验结果的准确性, 严格按照实验模型尺寸和实验介质(水), 用 FLUENT 软件建立了相应的数学模

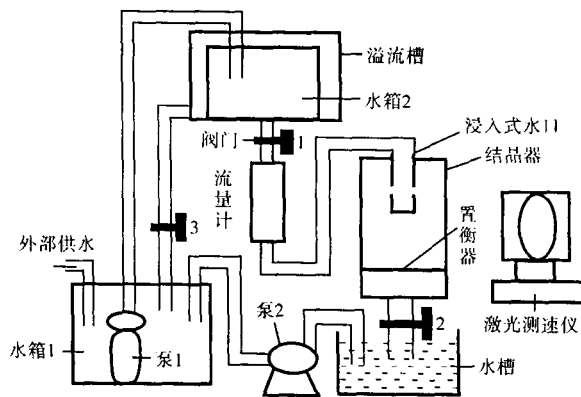


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic of experiment device

表 1 水模型流场实验参数
Table 1 Test parameters of water model flow field

编号	水口插入深度/mm	倾角 $\alpha/^\circ$
1	130	-30
2	150	-30
3	170	-30
4	150	10
5	150	0

型^[3],并完全按照文献[3]所述的数值求解方案对本模型进行数值模拟,将实验结果和数值模拟结果进行对比验证。

2 实验结果与分析

2.1 水口插入深度对结晶器流场的影响

板坯结晶器采用向下出口的双侧孔浸入式水

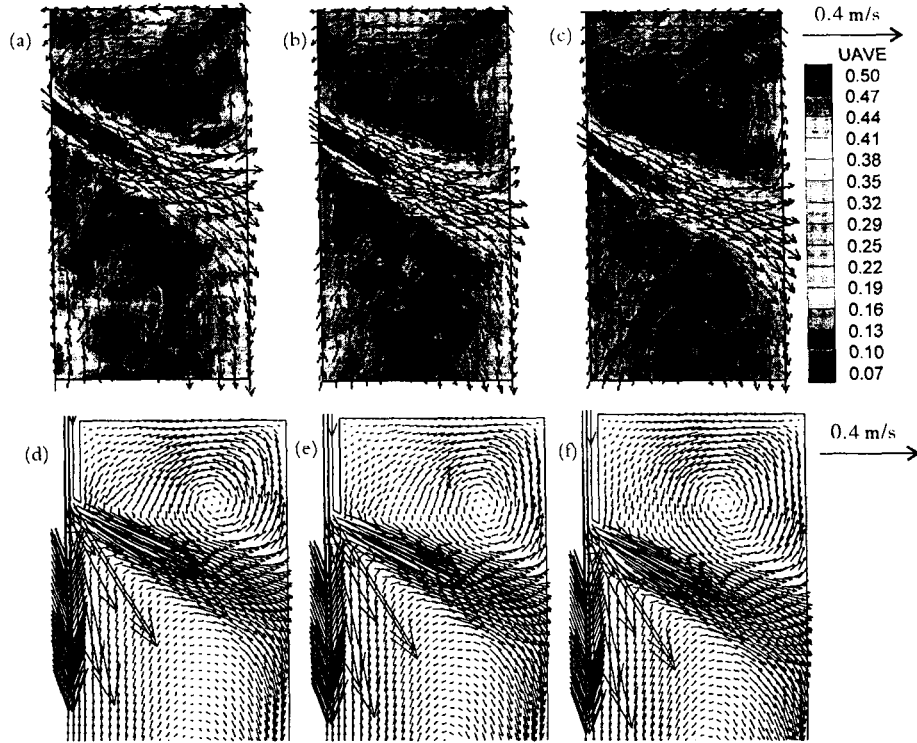


图 2 水口插入深度对流场影响的实验(上)和数值模拟(下)结果:插入深度 130 mm (a,d);150 mm (b,e);170 mm (c,f)
Fig. 2 Effect of nozzle submerged depth on flow fields, upper- test results; lower- numerical simulation results; submerged depth 130 mm (a,d); 150 mm (b,e); 170 mm (c,f)

口进行浇铸。由图 2(a,b,c)可见,水口插入深度增加,水口出口流股对铸坯窄面的冲击点位置下移,冲击深度加深;上部回流区的面积增大,回流涡心下移且整体平均速度降低。这对于夹杂物的上浮排除是不利的,但对于稳定结晶器的液面波动有好处;随着插入深度的加深,结晶器液面波动减轻,液面流速降低,尤其在弯月面附近。图 2(d,e,f)是同样条件下的数值模拟结果。由图可以看出,实验与数值模拟结果基本相同,3 个插入深度下对应的实验流场和模拟流场的分布趋势是一致的,随着插入深度的增加,整体流场的变化特征也相同。尤其在水口插入深度为 170 mm 时的实验和模拟结果的吻合性更好(图 3),实验下的

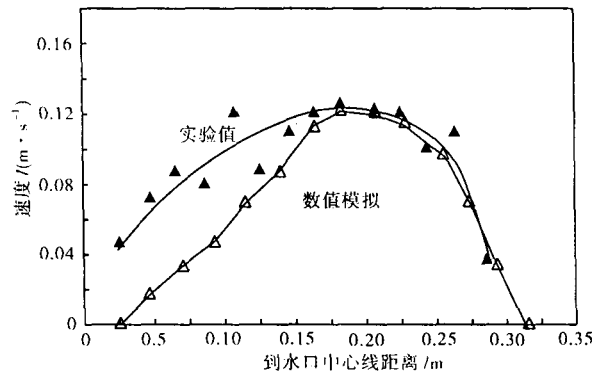


图 3 水口插入深度 170 mm 时,自由液面下 15 mm 处流场的实验与模拟结果对比
Fig. 3 Comparison between test and simulation results of flow field with nozzle submerged depth 170 mm at 15 mm from free surface

最大速度是 0.128 m/s, 数值模拟下的最大速度是 0.126 m/s。

2.2 水口侧孔倾角对结晶器流场的影响

图 4(a, b, c) 是水口侧孔倾角为 10° 、 0° 和 -30° 时的实验结果。当水口倾角向上 10° 时, 钢液主流股以略带向上的角度冲击铸坯窄面后, 热钢液大部分上流, 上回流区速度整体较大; 水口倾角为 0° 时, 钢液主流股的冲击点略微下移, 上回流区的速度还比较大, 弯月面附近速度仍然较剧烈; 当水口倾角向下 30° 时, 上回流区的速度明显

减弱, 下流钢液的回流速度和冲击深度都加大了。随着水口倾角由向上 10° 变到向下 30° , 自由液面附近的速度逐渐降低, 尤其是靠近弯月面处, 这有利于减缓钢液面波动、抑制卷渣和防止钢液的二次氧化。图 4(d, e, f) 是同样条件下的数值模拟结果。由图也可以明显地看出, 不同的水口侧孔倾角对应的实验流场和模拟流场分布一致, 流场的基本变化趋势和特征相同。从水口侧孔倾角向上 10° 和 0° 时自由液面下 15 mm 处沿结晶器宽面中心线上的速度分布的实验与数值模拟结果对比

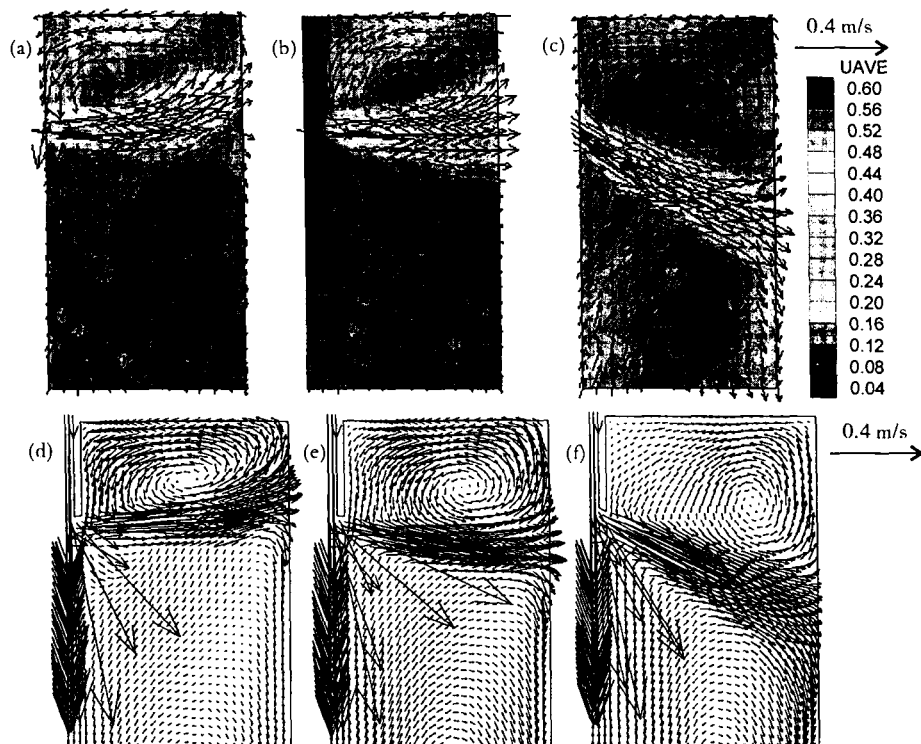


图 4 水口侧孔倾角对流场影响的实验(上)和数值模拟(下)结果: 倾角向上 10° (a, d) 和 0° (b, e); 向下 30° (c, f)

Fig. 4 Effect of outflow inclination of nozzle on flow fields, upper- test results; lower- numerical simulation; inclination angle up 10° (a, d) and 0° (b, e); down 30° (c, f)

可得, 水口侧孔倾角为向上 10° 和 0° 时分别对应的实验结果和模拟结果的一致性很好, 特别是水口侧孔倾角 0° 时, 二者的吻合性更好, 速度的变化趋势更一致, 实验下的最大速度是 0.208 m/s, 模拟下的最大速度是 0.248 m/s, 两者比较接近。

3 结论

浸入式水口插入深度和水口侧孔倾角增大, 有利于稳定钢液自由液面的波动, 但增加下流股的冲击深度, 大量热钢液下流, 不利夹杂物上浮。

参考文献

- 1 马范军, 文光华, 李刚. 板坯连铸结晶器内吹入气体对钢液行为的影响. 炼钢, 2000, 16(3): 42
- 2 包燕平, 祝三胜, 田乃媛, 等. 薄板坯连铸结晶器水模试验研究. 特殊钢, 1998, 19(2): 7
- 3 于海岐, 李慧琴, 王宝峰, 等. 板坯结晶器电磁制动过程的三维流场数值模拟. 包头钢铁学院学报, 2005, 24(3): 3

于海岐(1980-), 男, 硕士研究生, 从事钢铁冶金工艺过程模拟仿真试验研究。