

## 连铸结晶器内钢液流场的水模型研究

郑艳<sup>1</sup> 张利平<sup>1</sup> 梁娜<sup>1</sup> 何庆文<sup>2,3</sup>

(莱芜钢铁集团1技术中心, 2特殊钢厂, 莱芜271104; 3北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京100083)

**摘要** 采用1:1水模型研究了260 mm × 300 mm坯连铸结晶器中钢液在拉速0.5~0.8 m/min、浸入深度90~120 mm和5种水口结构时的流场。试验结果表明,合理的水口结构有利于降低冲击深度,现有的直筒型水口过大,优化后的水口可使冲击深度降低30%~40%;随拉速增大,冲击深度增加,而浸入深度对冲击深度影响不大。

**关键词** 结晶器钢液流场 水口结构 拉速 浸入深度 冲击深度 水模型

### A Study on Flow Field of Liquid in Concasting Mold by Water Model Testing

Zheng Yan<sup>1</sup>, Zhang Liping<sup>1</sup>, Liang Na<sup>1</sup> and He Qingwen<sup>2,3</sup>

(1 Technology Center, 2 Special Steel Works, Laiwu Iron and Steel Group, Laiwu 271104;

3 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083)

**Abstract** The flow field of liquid steel in 260 mm × 300 mm casting mold with casting speed 0.5~0.8 m/min, submerged nozzle depth 90~120 mm and 5 kinds of nozzle structure has been studied by 1:1 water model. Test results show that reasonable nozzle structure is available to decrease the impacting depth, present nozzle has larger impacting depth and the optimized nozzles may decrease the impacting depth by 30%~40%; with increasing casting speed the impacting depth increases while the immersed nozzle depth on impacting depth isn't obvious.

**Material Index** Flow Field of Liquid in Mold, Nozzle Structure, Casting Speed, Immersed Nozzle Depth, Impacting Depth, Water Model

钢液对结晶器下部的冲击深度太大,不仅不利于铸坯的凝固,还会将夹杂物带到铸坯的下部,恶化铸坯质量。本文以莱芜钢铁公司特钢厂的连铸结晶器为研究对象,采用物理模拟的方法<sup>[1]</sup>研究结晶器中的钢液在不同工艺参数和水口结构下的流动情况。

#### 1 试验过程

##### 1.1 模型的建立

水模拟试验的理论基础是相似原理,应用相似原理建立模型进行实验时,需要满足模型和原型的几何相似和动力学相似。模型和原型按1:1制作,并依照结晶器原型的弧度施工,以保证模型和原型的几何相似。结晶器内钢液的流动情况主要受粘滞力 $Re$ 、重力和惯性力 $Fr$ 的作用,根据流体力学原理,当流体流动的 $Re$ 数大于第二临界值时,流体的湍动程度及流速分布几乎不再受 $Re$ 数的影响,此时流体的流动状态不再变化,且彼此相似,与 $Re$ 数不再相关,即只要保证模型与原型 $Fr$ 相等<sup>[2,3]</sup>:

$$Fr_m = Fr_r = \frac{v^2}{g \cdot l}$$

由于  $\lambda = \frac{l_m}{l_r} = 1$

所以速度比  $\frac{v_m}{v_r} = \left(\frac{l_m}{l_r}\right)^{1/2} = \lambda^{1/2} = 1$

体积流量比  $\frac{Q_m}{Q_r} = \frac{v_m \cdot l_m^2}{v_r \cdot l_r^2} = \lambda^{1/2} = 1$

式中: $Fr_m$ 、 $Fr_r$ -模型与原型的惯性力; $g$ -重力加速度; $\lambda$ -几何相似比; $l_m$ 、 $l_r$ -模型与原型结晶器的长度; $v_m$ 、 $v_r$ -模型与原型的拉速; $Q_m$ 、 $Q_r$ -模型与原型的体积流量,拉速与流量的对应关系如表1所示。

##### 1.2 试验参数的确定

试验装置如图1所示。采用流场显示技术对结晶器现有的原型水口进行试验,在分析了原型水口(1#)存在的问题后,在其基础上,改变内部结构,设计了另外4种结构的水口(2#~5#),5种水口的结构示意图如图2所示。以结晶器断面尺寸260 mm ×

表1 260 mm × 300 mm 铸坯拉速与流量的对应关系  
Table 1 Relation between casting speed and flowing rate for 260 mm × 300 mm cast bloom

拉速/(m · min <sup>-1</sup> )	流量/(m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> )
0.5	2 340
0.6	2 808
0.7	3 276
0.8	3 744

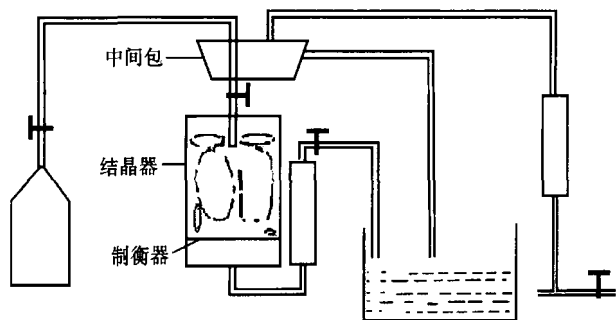


图 1 试验装置图

Fig. 1 Schematics of experimental device

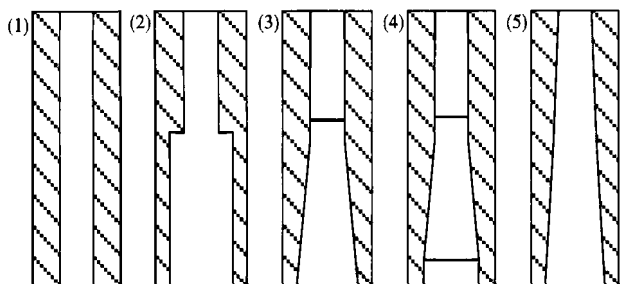


图 2 水口的结构示意图:(1)现有的;(2)、(3)、(4)和(5)优化的  
Fig. 2 Schematics of structure of nozzles: (1) present; (2), (3), (3), (4) and (5) optimized

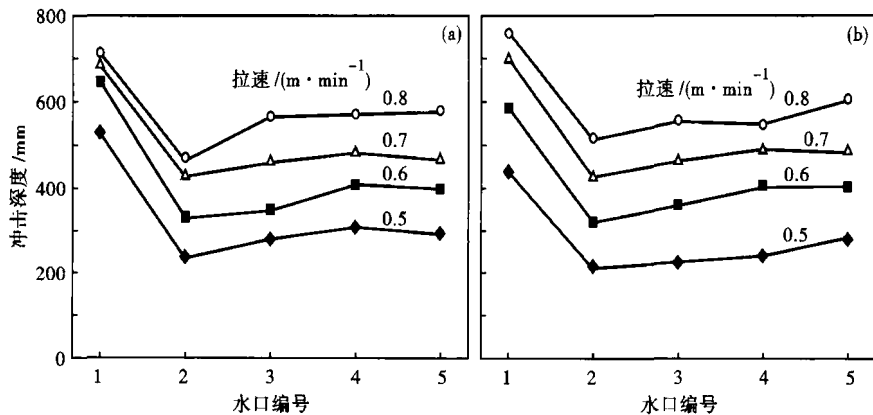


图 3 浸入深度 90 mm (a) 和 120 mm (b) 时拉速对冲击深度的影响

Fig. 3 Effect of casting speed on impacting depth with submerged nozzle depth 90 mm (a) and 120 mm (b)

300 mm 为例,研究 5 种水口在拉速 0.5 ~ 0.8 m/min 及浸入深度 90 mm 和 120 mm 下的性能。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 水口结构对冲击深度的影响

由图 3 (a) 可以看出,在同一拉速下,1# 水口的冲击深度明显大于其他 4 种水口。2# 水口减小冲击深度的效果最好,拉速 0.5 m/min 时,冲击深度减小 56%;拉速 0.8 m/min 时,冲击深度减小 30%。其余 3 种水口对冲击深度的减小程度相当,但即使当拉速为 0.8 m/min 时,最少也能使冲击深度减小 18%,这说明 4 种水口经结构优化后减小冲击深度的效果

明显。

从图 3 (b) 中可以看出,浸入深度 120 mm 时,结果与浸入深度 90 mm 相似。浸入深度为 120 mm,拉速为 0.5 m/min 时最佳的优化效果可减小冲击深度 50% 以上,拉速为 0.8 m/min 时最小的优化效果也可以减小冲击深度 20%。

根据质量平衡方程式:  $V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$  (式中:  $V$ -流速;  $A$ -截面积),扩大水口的内径可以吸收部分能量,减小钢液流动的速度,减小冲击深度,改善流场。

### 2.2 拉速对冲击深度的影响

由图 3 可见,对于同一浸入深度和水口,拉速增大,冲击深度也增大,不利于夹杂物的上浮,熔池表面更加不稳定,易使保护渣卷入和钢液面裸露,降低铸坯质量。

### 2.3 浸入深度对冲击深度的影响

将图 3 中同一拉速下不同浸入深度进行对比,可以看出,在其他条件一定的情况下,浸入深度对冲击深度的变化影响不大。实际生产中,考虑液面波动及化渣等因素,应使浸入深度控制在中间,即不能过大,也不要过小<sup>[4]</sup>。

## 3 结论

(1) 现有的直筒型水口的冲击深度过大,改进的 4 种水口平均可减低冲击深度 30% ~ 40%,其中“凸字形”水口优化效果最明显。

(2) 拉速增大,冲击深度都增大;高拉速时,结晶器应适当加长。

(3) 浸入深度控制在中间值,即不能过大和过小。

### 参考文献

- 1 禄向阳,刘国齐,马天飞,等. 连铸结晶器流场模拟研究现状. 中国科技论文在线精品论文,2009,2(12):1215
- 2 刘友荣,陈志平,刘体晋. 塞棒吹氩和结晶器流场水模型模拟实验研究. 梅山科技,2001,21(1):13
- 3 于会香,王新华,陆巧彤,等. 结晶器内钢液流动特性的优化. 北京科技大学学报,2009,54(4):477
- 4 张胤,贺友多,白学军,等. 水口插入深度对连铸机结晶器内钢液流动的影响. 炼钢,2001,17(2):52

郑艳(1974-),女,工程师,2009 年毕业于辽宁科技大学,钢铁冶金研究。

收稿日期:2011-01-07