

· 试验研究 ·

板坯连铸中间包水模型研究

梁福斌 陈 健 果晶晶

(河北理工大学冶金与能源学院, 唐山 063009)

摘 要 通过水模型实验,对唐钢不锈钢厂 2 号连铸机中间包结构进行了优化设计。研究了 180 ~ 200 mm 板坯拉速为 1.02 ~ 1.55 m/min 时中间包挡墙、坝和湍流控制等对中间包流场的影响,从而确定中间包的最佳结构及几何参数。优化后中间包在流量为 4.5 m³/h 时,中间包钢水最短停留时间由原先的 52 s 提高到 106 s,平均停留时间由 405 s 增加到 572 s,死区体积由 6.21% 下降至 3.51%。

关键词 连铸 中间包 水力学模型 停留时间

A Study on Water Modeling Test of Tundish for Slab Concasting

Liang Fubin, Chen Jian and Guo Jingjing

(College of Metallurgy and Energy, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009)

Abstract The optimum design of tundish structure for No2 concaster at Stainless Steel Plant, Tang Steel has been carried out by water modeling test. The tundish dam, weir and turbulence inhibiting on flow field in tundish with 180 ~ 200 mm slab casting speed 1.02 ~ 1.55 m/min was studied to obtain optimum structure and geometric parameters for tundish. After optimum, with flow rate 4.5 m³/h, the minimum residence time increased to 106 s from original 52 s, average residence time increased to 572 s from original 405 s, and dead zone volume decreased from 6.21% to 3.51%.

Material Index Concasting, Tundish, Water Modeling, Residence Time

随着连铸技术的迅速发展和市场对钢材质量要求的日益提高,中间包冶金越来越受到人们的关注。中间包内钢水流动状态对钢水在中间包内停留时间、夹杂物上浮去除以及卷渣等具有重要的作用。因此,优化中间包结构对于提高铸坯质量和安全生产具有重要意义。连铸中间包属于连续反应器。钢水由钢包流入中间包后,钢水内部许多冶金物理化学过程继续进行,而且要受中间包环境(大气、覆盖渣、耐火材料等)的影响。钢包注流的冲击以及中间包本身内部结构和形状,造成了中间包内钢液流

动状态的复杂化,形成非理想连续流动。进入中间包内各流体分子或流体微团从流入到流出这段过程中,实际经历的路径长短不一,其流速分布也不同,因而在中间包内停留的时间也各不相同^[1]。

本实验以唐钢不锈钢厂 2[#]连铸机中间包为原型设计模型,所采用的相似比例为:原型:模型 = 2:1。在保证几何相似的同时,应使决定性相似准数相等。中间包内钢液流动是钢包注流和钢液静压力引起的强制流动,影响其流动状态的作用力主要有惯性力、重力、黏性力和表面张力。当中间包内钢

表 1 模型各参数计算结果

Table 1 Calculated results for each parameters of Model

项目	铸坯尺寸/ m		拉速/ (m · min ⁻¹)	钢坯密度/ (kg · m ⁻³)	钢液密度/ (kg · m ⁻³)	实际水口 直径/mm	实际水口流速/ (m · s ⁻¹)	模拟水口 直径/mm	模拟流速/ (m · s ⁻¹)	模拟流量/ (m ³ · h ⁻¹)
第 I 组	0.18	1.02	1.50	7 600	7 000	72	1.22	36	0.86	3.17
	0.18	1.02	1.70	7 600	7 000	72	1.39	36	0.98	3.59
	0.18	1.02	1.80	7 600	7 000	72	1.47	36	1.04	3.81
第 II 组	0.18	1.50	1.35	7 600	7 000	72	1.62	36	1.15	4.20
	0.18	1.50	1.45	7 600	7 000	72	1.74	36	1.23	4.51
	0.18	1.50	1.55	7 600	7 000	72	1.86	36	1.32	4.82
第 III 组	0.20	1.25	1.35	7 600	7 000	72	1.50	36	1.06	3.89
	0.20	1.25	1.50	7 600	7 000	72	1.67	36	1.18	4.32
	0.20	1.25	1.60	7 600	7 000	72	1.78	36	1.26	4.61
第 IV 组	0.20	1.55	1.20	7 600	7 000	72	1.65	36	1.17	4.28
	0.20	1.55	1.40	7 600	7 000	72	1.93	36	1.36	5.00
	0.20	1.55	1.50	7 600	7 000	72	2.07	36	1.46	5.35

液流动与模型中流体流动处于同一自模化区域时, 决定性相似准数采用修正的 Fr (弗劳德准数) 相等 ($Fr'_{原型} = Fr'_{模型}$)^[2], 即能够满足相似条件。

此实验中水模型所采用各参数计算结果如表 1 所示。中间包原型与模型的结构参数如表 2 所示。

表 2 中间包结构参数/mm
Table 2 Parameters of structure of tundish /mm

项目	液面高度	上口		下口		水口直径
		长度	宽度	长度	宽度	
原型	630	4 000	1 600	3 600	1 160	72
模型	315	2 000	800	1 800	580	36

1 实验方法与方案

实验测定的停留时间分布函数 $E(t)$ 曲线如图 1 所示, 由图 1 可计算出钢水在中间包内的实际平均停留时间 (它是停留时间分布函数的数学期望)^[2]。

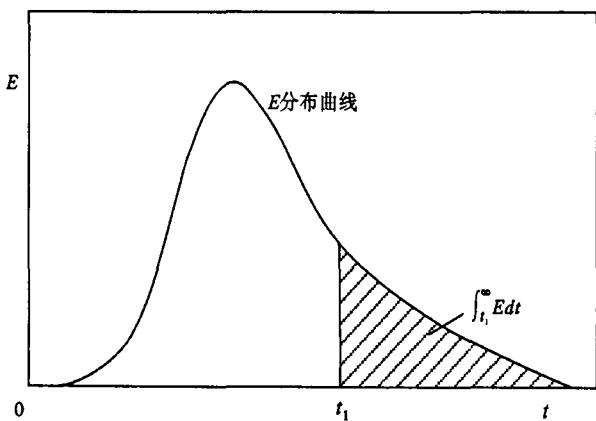


图 1 实验测定的停留时间分布函数

Fig. 1 Residence time distribution function determined by test

应用“刺激-响应”技术获得停留时间分布函数, 来研究中间包冶金效果。刺激-响应试验准确与否的关键在于, 响应信号能否真正反映反应器内流动的真实状态, 且同时又不干扰其流动。

以唐钢不锈钢厂中间包原型进行分析为基础, 同时结合查阅相关中间包优化方面的文献资

表 3 实验中间包挡墙和坝的位置和尺寸

Table 3 Location and dimension of dam and weir of tundish for test

中间包号	坝高/mm	挡坝位置	挡墙悬空高度/mm	墙坝间距/mm
1*	120 ~ 150	台阶处	200	425
2*	200	台阶处	200	425
3*	200	台阶处	200	1 025
4*	330	台阶处	200	425
5*	200	台阶左侧 256 mm 处	200	425

注: 1* 中间包指唐钢不锈钢厂目前所采用的原型中间包。

料^[3,4], 最终采用 5 种中间包尺寸进行分析, 以得到最优结果。这 5 种中间包的结构尺寸及图形如表 3。

由于生产现场铸坯存在 4 个断面, 拉速为 1.2 ~ 1.8 m/s 不等, 导致长水口流速由 1.22 m/s 到 2.07 m/s 变化。于是, 模型所用入口流量便由 3.17 ~ 5.35 m³/h 变化。因此, 在实验模拟中, 取定模拟流量为 3.0, 4.5, 5.5 m³/h 三种水口流速, 以便在同等流量条件下对比各种中间包方案优劣。

2 实验结果与讨论

通过水模型试验所得到的中间包 RTD 曲线 (停留时间分布曲线, 用来分析中间包内钢水的流动状态及其对冶金过程的影响)^[2]。实验所得结果如表 4 所示。

表 4 停留时间分布 (RTD) 曲线所得数据

Table 4 Data obtained from residence time distribution (RTD) curves

中间包号	模拟流量/ (m ³ · h ⁻¹)	活塞流体积/%		全混流体积/%		死区体积/%	
		分数	平均值	分数	平均值	分数	平均值
1*	3.0	6.31		70.18		23.51	
	4.5	11.32	10.09	82.47	78.99	6.21	10.92
	5.5	12.65		84.31		3.04	
2*	3.0	15.36		71.9		12.74	
	4.5	15.78	16.07	80.71	78.32	3.51	5.61
	5.5	17.06		82.36		0.58	
3*	3.0	18.79		70.21		11.00	
	4.5	21.75	21.14	69.02	71.05	9.23	7.80
	5.5	22.89		73.93		3.18	
4*	3.0	16.78		67.23		15.99	
	4.5	23.59	21.93	73.03	71.27	3.38	6.79
	5.5	25.43		73.56		1.01	
5*	3.0	13.42		50.74		35.84	
	4.5	14.53	16.61	66.43	63.78	19.04	19.61
	5.5	21.89		74.17		3.94	

在中间包内设置挡墙、坝和湍流抑制器组合形式的控流装置, 随着挡墙和坝的间距以及坝高的变化, 中间包内流体的各种流动形式所占的体积分数也在不断变化。实验过程中分别按实验方案中的 5 种中间包尺寸实验, 经比较发现:

(1) 1* 与 2* 和 4* 中间包相比, 1* 中间包挡坝的高度较低, 会明显导致活塞流体积分率的增加, 流体冲击到挡坝时不能充分上浮, 使得死区体积所占的分率较大。4* 中间包挡坝高度较大, 它可以使流体充分上浮, 可以看到死区体积所占分率较小。通过染色剂示踪剂 (蓝墨水) 观察, 发现 4* 中间包的死区体积在坝的两侧较大, 由实验结果看到, 其活塞流的体积分数较大, 使得钢液在中间包内停留时间缩短, 不利于夹杂物的去除。所以挡坝的高度不能太小,

