

氧气顶吹转炉溅渣护炉试验研究

刘辉¹, 刘启龙²

(1 济南钢铁集团总公司, 山东 济南 250101; 2 马鞍山钢铁股份有限公司, 安徽 马鞍山 243011)

摘要: 采用水力模型研究方法, 针对马钢20t转炉进行溅渣护炉冷态模拟试验, 得出最佳工艺参数为: 枪位1680mm, 氮气流量为11000m³/h, 大流渣量, 渣粘度适中。此外, 在满足炼钢生产的条件下, 采用夹角为13°的喷头溅渣效果好。

关键词: 溅渣护炉; 水模试验; 枪位; 渣粘度

中图分类号: TF724 文献标识码: B

Experiment and Study of Protection Converter with Splashing Slag on Oxygen Top-blown Converter Process

LIU Hui¹, LIU Qi-long²

(1 Jinan Iron and Steel Group, Jinan 250101, China;

2 Maanshan Iron and Steel Co., Ltd., Maanshan 243011, China)

Abstract: Taking up study way of hydraulic model the simulation test of cold state protection converter with splashing slay was done to 20t converter at Magang. The optimum parameter is gun position about 1680 mm, nitrogen flow about 11000m³/h, big slag flow, moderate slay viscosity. Under the condition of meeting the needs of steel-making production the spray gun with 13° included angles has good effect for splashing slag.

Keywords: protection converter with splashing slag; hydraulic model test; gun position, slag viscosity

氧气顶吹转炉采用溅渣护炉技术, 可以大幅度提高炉龄, 对增加钢产量, 降低成本具有重要意义。为此, 针对马鞍山钢铁股份有限公司(简称马钢)20t转炉进行了水模试验, 以寻求最佳的溅渣护炉工艺参数组合。

1 试验原理

根据相似原理, 对溅渣护炉进行水模研究。须保证修正佛鲁德准数(Fr')和韦伯准数(We)相等。雷诺准数(Re)在同一自模化区内就可近似模化溅渣护炉的过程。即:

$$Fr' = (\rho_g v^2 / g d (\rho_1 - \rho_g)) \quad (1)$$

$$We = \sigma / g (\rho_1 - \rho_g) L_2 \quad (2)$$

$$Re = v d / \gamma \quad (3)$$

式中 ρ_g 、 ρ_1 —气体、液体密度, kg/m³;

- v—气体出口速度, m/s;
- d—氧枪直径, mm;
- g—重力加速度, m/s²;
- σ—液体的表面张力, N/m;
- L—定性尺寸, mm;
- γ— 动力粘度, m²/s。

试验时选用了三种不同粘度的介质, 试验模型和原型比为1:6。用下标m表示模型, 用下标p表示原型。

由 $(Fr')_m = (Fr')_p$ 得到模型与原型的流量比为:

$$Q_m/Q_p = 0.0067 \sim 0.0077$$

由 $(We')_m = (We')_p$ 得到模型与原型的表面张力比为:

$$\sigma_m/\sigma_p = 0.0053 \quad (4)$$

实际熔渣表面张力一般为0.3~0.6N/m。

$\sigma_m = 0.0035\sigma_p = (1.6 \sim 3.2) \times 10^{-3} \text{N/m}$, 而实际中用具有如此小表面张力的物质作为模拟几乎不可能。由于试验并不是研究模型的绝对溅渣量和实物的溅渣量的关系, 而是研究模型的涂敷规律以推出实物的涂敷规律, 寻求最佳工艺组合, 故在We数不相等的条件下, 研究结果对实际情况也是有很大参考作用的。试验的有关物性参数和工艺参数见表1。

表1 有关物性参数和工艺参数

项目	气体密度 /kg·m ⁻³	炉渣密度/ $\times 10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	炉渣粘度 /Pa·S	枪位 /mm	氮气 流量 /m ³ · h ⁻¹	留渣 量 /L
原型	1.251	2.7~3.5	0.3~1.0	700~1200	9000 ~ 11000	357 ~ 1071
模型	1.293	1~1.32	0.01~0.87	117~200	60.3 ~ 84.7	1.65 ~ 4.96

2 试验方法

试验选用了3种不同粘度的介质。用压缩空气模拟高压氮气用三孔拉瓦尔喷枪喷吹。试验采用四因素三水平的正交试验方案(见表2), 并考虑交互作用的影响, 用L₂₇(3¹³)正交表安排试验次数, 用溅渣量作为正交试验的目标值, 并考虑喷溅均匀性。试验装置如图1所示。

表2 试验因素水平

水平	枪位 A/dm	顶气流量 B/ $\times 10 \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	留渣量 C/L	渣粘度 D/Pa·S
一水平	1.6	6.0	1.6534	0.01010
二水平	1.9	7.5	3.3068	0.86775
三水平	2.2	9.0	4.9603	0.04524

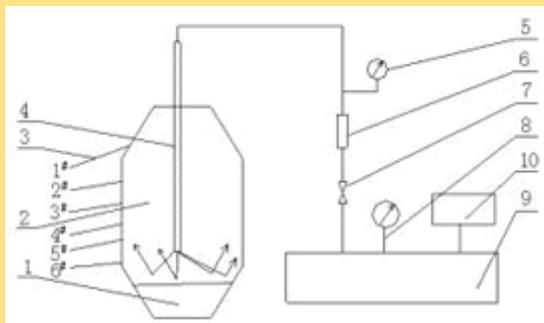


图1 试验装置

- 1 模拟熔渣 2 转炉模型 3 取样管 4 氧枪 5 压力表
6 流量计 7 阀门 8 压力表 9 储气罐 10 空压机

3 试验结果及数据处理

按照正交表用 $L_{27}(3^{13})$ 安排试验次数，所得试验结果及方差分析见表3、表4。由方差分析结果可知，因素B、C高度显著， $B \times C$ 、A、D显著， $A \times B$ 有影响， $A \times C$ 不显著。影响溅渣总量的因素和交互作用的主次顺序依次为：

$$C \rightarrow B \rightarrow B \times C \rightarrow A \rightarrow D \rightarrow A \times B \rightarrow A \times C$$

得出最优组合为 $C_3B_3A_3D_3$ ，即高枪位、大流量、大留渣量、低粘度。考虑到粘度过低，溅渣到炉壁后容易下滑，故粘度选择适中。在现场情况下，留渣尽量大，喷吹氮气流量以大为好，最佳枪位在补充试验中寻求。

表3 试验结果

条件	溅渣总量	条件	溅渣总量	条件	溅渣总量
$A_1B_1C_1D_1$	2.4308	$A_2B_1C_1D_1$	11.184	$A_3B_1C_1D_1$	15.729
$A_1B_1C_2D_2$	63.944	$A_2B_1C_2D_2$	68.005	$A_3B_1C_2D_2$	47.797
$A_1B_1C_3D_3$	95.503	$A_2B_1C_3D_3$	110.264	$A_3B_1C_3D_3$	104.200
$A_1B_2C_1D_3$	7.531	$A_2B_2C_1D_3$	11.535	$A_3B_2C_1D_3$	26.120
$A_1B_2C_2D_1$	8.809	$A_2B_2C_2D_1$	25.310	$A_3B_2C_2D_1$	85.820
$A_1B_2C_3D_2$	31.516	$A_2B_2C_3D_2$	21.710	$A_3B_2C_3D_2$	20.221
$A_1B_3C_1D_1$	4.110	$A_2B_3C_1D_1$	21.425	$A_3B_3C_1D_1$	20.925
$A_1B_3C_1D_2$	11.485	$A_2B_3C_1D_2$	53.523	$A_3B_3C_1D_2$	118.200
$A_1B_3C_3D_1$	80.000	$A_2B_3C_3D_1$	111.871	$A_3B_3C_3D_1$	138.155

表4 方差分析

方差来源	偏差平方和	自由度f	F值	显著性
A	4108.411	2	8.181	**
B	6794.15	2	13.529	***

C	19819.43	2	39.464	***
D	3404.41	2	6.779	(*)
A×B	2938.34	4	2.925	**
B×C	6572.60	4	6.544	
A×C	1643.07	4	1.636	
e	1506.62	6		
$F_{0.01}(2,6)=10.9$ $F_{0.05}(2,6)=5.14$ $F_{0.1}(2,6)=3.46$ $F_{0.25}(2,6)=1.76$				
$F_{0.01}(4,6)=9.15$ $F_{0.05}(4,6)=4.53$ $F_{0.1}(4,6)=3.18$ $F_{0.25}(4,6)=1.79$				

4 溅渣均匀性分析

由于一般的摇炉挂渣无法使耳轴部位挂上渣，因而在冶炼过程中耳轴部位侵蚀最为严重。为了考察溅渣的均匀性，试验中把耳轴部位的3、4、5所取的渣样总和与溅渣总和相比较，情况见表5。

表5 均匀性分析

条件	$\Sigma 3\sim 5^\#$	相比/%	条件	$\Sigma 3\sim 5^\#$	相比/%	条件	$\Sigma 3\sim 5^\#$	相比/%
1	0.430	17.7	10	3.324	29.7	19	1.06	6.70
2	4.379	6.9	11	9.195	13.5	20	8.532	17.90
3	6.312	6.6	12	14.304	13.0	21	12.75	12.20
4	1.508	20.9	13	2.640	22.90	22	4.595	17.60
5	1.144	13.0	14	1.600	6.30	23	3.414	4.00
6	9.342	29.6	15	11.325	52.20	24	12.026	59.50
7	0.870	21.2	16	2.985	13.90	25	3.22	15.4
8	1.975	17.2	17	4.198	7.8	26	6.91	5.90
9	3.979	5.0	18	11.156	10.0	27	10.91	7.90

由表5可知，溅渣分布很不均匀，下部多，中上部很少，尤其高宽比较大的转炉，上下分布极不均匀。相差几十倍甚至几百倍，这主要是由于下部为浪涌溅渣，故实际操作中一般不必考虑下部溅渣量，应通过改变枪位、流量等方法使中上部溅渣量尽可能多且均匀。

5 补充试验及讨论

5.1 喷枪枪位对溅渣量的影响

为了寻求最佳枪位，试验在大流量、大留渣量及低粘度条件下补充做了6组试验，结果见图2。

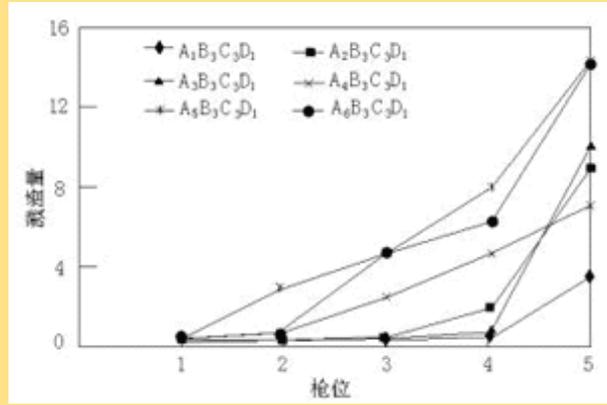


图2 不同枪位下各部位溅渣情况

由图2可知，在枪位A5即280mm时，其溅渣量最多且溅渣后均匀性很好。如小于A5，氮气射流对渣池的冲击面积小，冲击浓度大，甚至穿透渣池，直冲炉底。造成射流能量消耗在搅拌渣池上，而冲击的渣量少且反射角度多数大于45°，溅到炉衬表面较少，也容易造成喷枪粘渣。如大于A5，射流对渣池的冲击面积大，接受冲击的渣量也大，且射流在到达渣面之前就受到反射气流和溅渣的影响。射流速度衰减快，射流能量受到较大损失，渣面形成浅盘状反射角度小于45°，上部溅渣量小，且容易造成炉底上涨。

5.2 喷头夹角对溅渣量的影响

溅渣喷溅量应在确保炼钢生产的基础上，满足溅渣护炉的需要。在大流量、大留渣量、低粘度条件下作了6组试验，结果见图3。

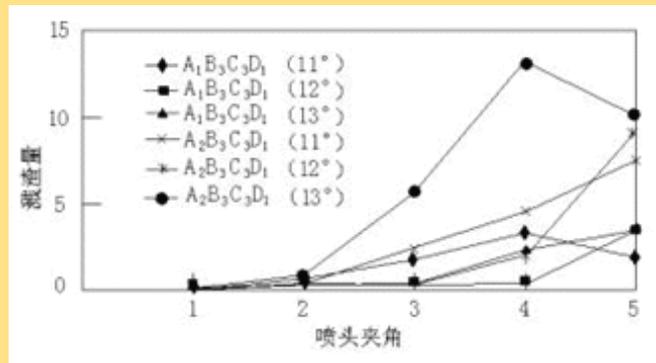


图3 不同喷头夹角对溅渣的影响

由图3可知，在适当的枪位与13°喷头相应的条件下，其溅渣效果较好。若枪位过低，一方面射流能量较多消耗在熔池搅拌上。另外，喷出射流与炉渣接触面积大(相比11°喷头)，能量损失大，形成的冲击力小，其反射流与水平夹角小，对炉衬喷补面积小，溅渣量小。如有枪位合适，能使射流能量消耗在乳化渣方面，其反射角度也较合理，则其溅渣效果会很好。从试验中可知，13°喷头与高枪位溅渣对马钢小转炉比较合适。

6 结论

6.1 对马钢20t转炉，建议其溅渣工艺参数为：枪位1680mm左右，氮气流量为11000Nm³/h左右，大流渣量，渣粘度适中，最好造短渣。

6.2 在满足炼钢生产的前提下，建议采用夹角为13°的喷头。

[返回上页](#)