

## 重钢 85 t 复吹转炉的水模型试验

鱼洋洋<sup>1</sup> 唐萍<sup>1</sup> 周亮<sup>1</sup> 龙贻菊<sup>2</sup> 陈文满<sup>2</sup> 梁庆<sup>2</sup> 安昌遐<sup>2</sup>

(1 重庆大学材料科学与工程学院, 重庆 400030; 2 重庆钢铁公司炼钢厂, 重庆 400030)

**摘要** 通过重钢 85 t 复吹转炉 1:8 的水模型, 试验研究了顶枪枪位、底吹流量对转炉熔池混匀时间、炉口喷溅量、冲击深度和液面扰动的影响。实验表明, 模型获得最大搅拌能的顶枪枪位为 50 ~ 100 mm; 枪位在 90 ~ 110 mm 时, 由射流冲击引起的物理喷溅量达到最大值。建立了重钢 85 t 转炉复吹工艺参数: 冶炼前期顶枪枪位为 1 600 ~ 1 760 mm, 底吹流量 240 ~ 350 m<sup>3</sup>/h; 中期两参数分别为 1 100 ~ 1 300 mm 和 160 ~ 200 m<sup>3</sup>/h, 后期两参数分别为 1 040 ~ 1 120 mm 和 200 ~ 350 m<sup>3</sup>/h。

**关键词** 复吹转炉 水模型 混匀时期 喷溅量 液面扰动

## Water Modelling for a 85 t Top-Bottom Combined Blown Converter at Chongqing Steel

Yu Yangyang<sup>1</sup>, Tang Ping<sup>1</sup>, Zhou Liang<sup>1</sup>, Long Yiju<sup>2</sup>, Chen Wenman<sup>2</sup>, Liang Qing<sup>2</sup> and An Changxia<sup>2</sup>

(1 College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030;

2 Steelmaking Plant, Chongqing Iron and Steel Company, Chongqing 400030)

**Abstract** The effect of top lance level and bottom blowing flowrate on mixed time in bath, mouth spraying, penetration depth in steel and liquid surface fluctuation have been studied by 1:8 water modelling of a 85 t top-bottom combined blown converter at Chongqing Steel. The test results showed that maximum stirring energy was obtained as the top lance level was at 50 ~ 100 mm and the spraying amount caused by top lance jet penetration was up to maximum as the top lance level was at 90 ~ 110 mm. The top-bottom blown parameters for the 85 t converter at Chongqing Steel has been established that in primary phase of melting the top lance level is 1 600 ~ 1 760 mm and the bottom blowing flowrate is 240 ~ 350 m<sup>3</sup>/h; in second phase both parameters are 1 100 ~ 1 300 mm and 160 ~ 200 m<sup>3</sup>/h respectively; and in later phase both are 1 040 ~ 1 120 mm and 200 ~ 350 m<sup>3</sup>/h.

**Material Index** Top-Bottom Combined Blown Converter, Water Modelling, Mixed Time, Spraying Amount, Liquid Surface Fluctuation

重钢复吹转炉平均装入量 85 t。顶枪为 4 孔拉瓦尔喷头, 供气流量 17 000 m<sup>3</sup>/h, 纯吹氧时间 17 min。底吹供气元件为双环缝喷嘴, 炉底喷嘴布置如图 1 所示, 底吹供气参数根据冶炼钢种不同, 分 A、B、C 三种模式, 如表 1 所示。

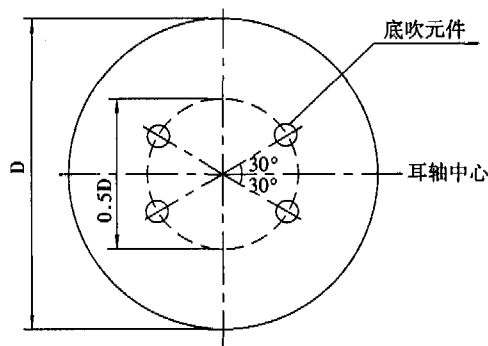


图 1 底吹元件位置布置图

Fig. 1 Schematic of bottom blown elements location

### 1 实验方法及原理

实验采用相似原理对复吹转炉进行模拟。因钢液质量较大, 水模型实验中主要考虑惯性力和重力。又因复吹过程是气液两相流的作用, 因此相似准数采用修正的弗劳德准数<sup>[1]</sup>, 即  $Fr'_m = Fr'$ ,  $Fr'_m$ 、 $Fr'$  分别为模型和原型的修正弗劳德准数。模型按 1:8 比例制作。

实际生产中氧枪出口流速为超音速, 而模型喷枪出口流速为亚音速。当以模型上的亚音速流

表 1 不同底吹模式供气流量/m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>

Table 1 Blowing flowrate with different bottom blowing patterns /m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>

模式	过程吹氩	出钢吹氩	过程吹氮	溅渣吹氮
A	480	240	240	480
B	350	240	240	480
C	240	240	240	480

模拟原型超音速流时,由于枪位的几何相似,会造成模型上射流与熔池接触面积偏大而中心流速偏低,因此实验对模型喷枪的枪位进行了修正,即用模型枪位减去相应的修正项<sup>[2]</sup>。在本实验条件下,枪位的修正值为 80 mm,实验所取枪位为各模型枪位减去修正值,模型与原型参数对应值如表 2、表 3 所示。

实验采用测试混匀时间的方法来确定不同吹炼模式下,熔池搅拌能的大小。实验测试了混匀时间、冲击深度和炉口喷溅量,并通过测试熔池液面扰动大小的方式,来反映熔池界面反应的动力学条件。

表 2 模型与原型枪位对照表/mm

Table 2 Comparison between model and original lance level /mm

模型 h	原型 H	模型 h	原型 H
20	800	120	1 600
40	960	140	1 760
60	1 120	160	1 920
80	1 280	180	2 080
100	1 440	200	2 240

表 3 模型与原型流量对照表/ $m^3 \cdot h^{-1}$

Table 3 Comparison between model and original flowrate /  $m^3 \cdot h^{-1}$

顶吹		底吹			
模型 $Q_t'$	原型 $Q_t$	模型 $Q_b'$ (单枪)	原型 $Q_b$	模型 $Q_b'$ (单枪)	原型 $Q_b$
23	17 000	0.08	40	0.19	300
		0.12	130	0.22	350
		0.13	135	0.25	470
		0.14	160	0.27	480
		0.16	200	0.32	680
		0.18	240		

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 影响混匀时间的因素

#### 2.1.1 顶枪枪位

通过复吹水模型试验,在固定顶枪流量为  $23 m^3/h$  时,得到复吹模式下,顶枪枪位与混匀时间的关系(图 2a);底吹流量与混匀时间的关系(图 2b)。由图 2(a)可知,复吹条件下,由于顶吹气流与底吹气流能量的交互影响、叠加,随着枪位的降低,混匀时间先减小后增大,有一个最小值存在,获得最大搅拌能的枪位在 50 ~ 100 mm。

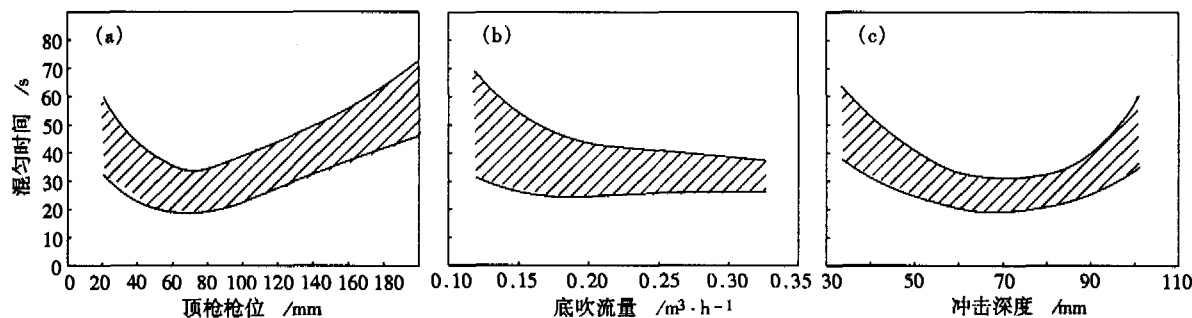


图 2 (a) 顶枪枪位(底吹流量  $0.12 \sim 0.27 m^3/h$ )、(b) 底吹流量(顶枪枪位 60 ~ 140 mm)、(c) 冲击深度(底吹流量  $0.13 \sim 0.27 m^3/h$ )对混匀时间的影响

Fig.2 Effect of (a) top lance level (with bottom blowing flowrate  $0.12 \sim 0.27 m^3/h$ ), (b) bottom blowing flowrate (with top lance level 60 ~ 140 mm) and (c) penetration depth (with bottom blowing flowrate  $0.13 \sim 0.27 m^3/h$ ) on mixed time

#### 2.1.2 底吹流量

由图 2(b)所示,随底吹流量的增加,混匀时间总的呈下降趋势。在一定的枪位范围内,有一最低混匀时间值,即获得最大搅拌能的流量。图 2(b)表明,枪位在 60 ~ 120 mm 范围,获得最大搅拌能的底吹流量为  $0.16 m^3/h$ 。

#### 2.1.3 冲击深度

实验表明,当底吹流量一定时,熔池的冲击深度随着枪位的升高而减小,冲击深度的变化范围在 40 ~ 120 mm。当枪位大于 120 mm,随枪位的升

高,冲击深度变化不明显;当顶枪枪位一定时,随底吹流量增加,底吹流量对冲击深度的影响微弱。

图 2(c)反映了熔池冲击深度与混匀时间的关系。由图 2(c)可知,混匀时间随着冲击深度的增加先减小后增大,当冲击深度在 60 ~ 90 mm 时,熔池的混匀时间有最小值。冲击深度大于 90 mm 以后,混匀时间又有所增加。因此,复吹条件下,冲击深度并非越深越好,较浅的冲击深度也可以达到好的搅拌效果。

### 2.2 影响炉口喷溅量的因素

图3(a)反映了顶枪流量固定时,顶枪枪位与炉口喷溅量的关系。实验表明,纯顶吹与复吹相同,炉口喷溅量都是随着枪位的增加,喷溅量先增大后减小。顶枪枪位在90~110 mm时,炉口喷溅量达到最大。

复吹条件下,由于底吹气流的作用,与纯顶吹

相比,由射流机械冲击引起的物理喷溅减弱。但底吹气体流量的变化对于喷溅量的影响没有明显的规律性。因此,从减小炉口喷溅量的角度,并结合混匀时间最短时枪位的选择,顶枪枪位应该选择在50~80 mm之间,避免枪位在100 mm时,炉口喷溅量最大。

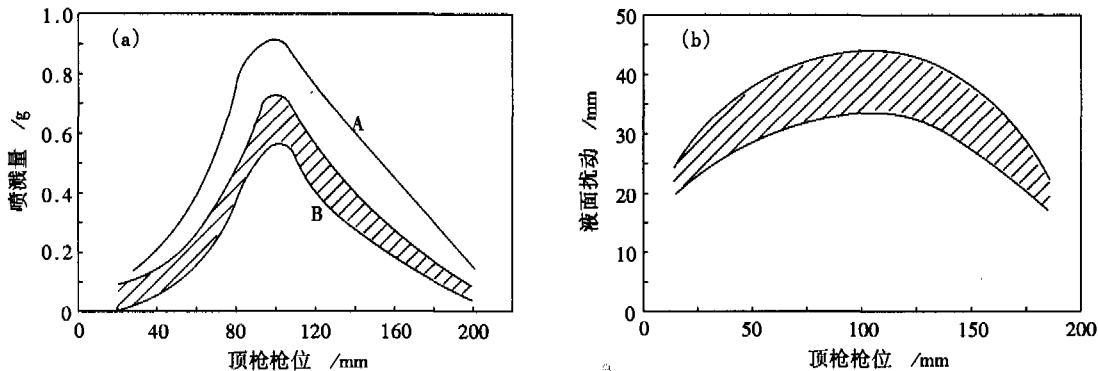


图3 (a) 顶枪枪位对炉口喷溅量的影响:A-无底吹、B-底吹流量0.14~0.27 m<sup>3</sup>/h; (b) 顶枪枪位对液面扰动的影响:底吹流量0.08~0.25 m<sup>3</sup>/h

Fig.3 (a) Effect of top lance level on converter mouth spraying amount: A- non-bottom flowing, B- bottom blowing flowrate 0.14~0.27 m<sup>3</sup>/h; (b) Effect of top lance level on liquid surface fluctuation: bottom blowing flowrate 0.08~0.25 m<sup>3</sup>/h

### 2.3 影响液面扰动的因素

图3(b)反映了顶枪流量固定时,顶枪枪位与液面扰动的关系。由图3(b)可知,在底吹流量一定时,液面扰动随着枪位的升高,先增大后减小。复吹条件下,在较大枪位范围内,熔池内都可获得较大的液面扰动。实验表明,在实验枪位小于60 mm,大于140 mm时,熔池反应界面能减小。

枪位在低、高枪位(20, 140, 180 mm)时,增大底吹流量,液面扰动呈增大的趋势,有利于界面反应的进行。枪位在中枪位(60, 100 mm)时,液面扰动先减小后增大,在底吹流量为0.16 m<sup>3</sup>/h时,也就是获得最大搅拌能的底吹流量条件下,熔池表面扰动出现最小值。根据能量守恒的原理,此时复吹供入的能量,主要用于熔池内部,熔池获得的界面反应能相对较弱。

### 3 重钢 85 t 转炉复吹工艺参数优化

根据上述研究,得出重钢 85 t 转炉复吹优化工艺:冶炼前期,为快速成渣、脱磷,须控制熔池冲击深度,保证熔池内有足够的(FeO),界面反应能大,同时还须防止喷溅,顶枪枪位为高枪位120~140 mm,底吹流量0.18~0.22 m<sup>3</sup>/h。实际枪位1600~1760 mm,底吹流量240~350 m<sup>3</sup>/h。

冶炼中期,为快速脱碳、升温,熔池内既需要强的搅拌强度,但又须保证熔池内有足够的(FeO),防止后期熔池返干。采用中等枪位,适当控制熔池冲击深度,顶枪枪位控制在60~80 mm,底吹流量0.14~0.16 m<sup>3</sup>/h。实际枪位1100~1300 mm,底吹流量160~200 m<sup>3</sup>/h。

冶炼后期,保证渣铁分离,温度、成分均匀,熔池应强搅拌,顶枪枪位控制在50~60 mm,底吹流量控制在0.16~0.22 m<sup>3</sup>/h。实际枪位1040~1120 mm,底吹流量200~350 m<sup>3</sup>/h。

### 4 结论

通过1:8水模型试验确定的重钢 85 t 复吹转炉冶炼前、中、后期顶枪枪位和底吹流量分别为1600~1760 mm, 240~350 m<sup>3</sup>/h; 1100~1300 mm, 160~200 m<sup>3</sup>/h; 1040~1120 mm, 200~350 m<sup>3</sup>/h。

#### 参考文献

- 1 于华财,马春生,朱英雄.本钢120 t转炉单底枪复吹水模研究.炼钢,1995,11(10):40
- 2 倪红卫,喻淑仁,邱玲慧,等.90 t复吹转炉水模实验研究.炼钢,2002,18(3):39

鱼洋洋(1981-),男,硕士研究生,从事复吹转炉工艺参数优化和底吹气体对熔池搅拌的数值模拟研究。

收稿日期:2005-11-01