

## RH-PTB 真空精炼装置内粉剂混合特性的水模型研究

杜成武 朱苗勇 潘时松 郑淑国  
(东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004)

**摘要** 根据相似理论,用 1:9 水模型钢包(直径 0.43 m,水面高度 0.45 m)模拟 RH-PTB 真空精炼水冷顶枪喷粉技术,研究顶枪气量、上升管提升气量、顶枪枪位高度对粉剂混均时间的影响。结果表明,随顶枪气量增加,粉剂在液体中均混时间增加,并具有最大值;随提升气量增加,均混时间迅速减少,但当提升气量  $\geq 15$  L/min 时,均混时间不再继续减少;顶枪枪位对均混时间有一定影响,实际操作中,应根据具体情况,调整顶枪枪位,以减少粉剂均混时间。

**关键词** RH-PTB 真空精炼 粉剂 均混时间

## A Study of Water Model on Mixing Characteristics of Powder Injected through Top Lance in RH-PTB Vacuum Refining Unit

Du Chengwu, Zhu Miaoyong, Pan Shisong and Zheng Shuguo  
(School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004)

**Abstract** Based on theory of similarity, the powder injected through top lance in RH-PTB vacuum refining has been simulated using 1:9 water model ladle (diameter- 0.43 m, height to water surface- 0.45 m) to study the effect of top lance gas flow rate, lifting gas flow rate of up-leg and height of top lance on injecting powder mixing time in liquid. The results showed that with top lance gas flow rate increasing, the injecting powder mixing time in liquid increased and had maximum value; with lifting gas flow rate of up-leg increasing, the mixing time quickly decreased and as lifting gas flow rate was  $\geq 15$  L/min, the mixing time was no longer decreasing; the effect of height of top lance on mixing time was definite, therefore in operation, according to specific circumstances to adjust height of top lance decreasing powder mixing time.

**Material Index** RH-PTB Vacuum Refining, Powder, Mixing Time

RH 真空精炼装置已发展为具有脱氢、脱碳、脱磷、脱硫、脱氧、去除夹杂、升高温度和调节合金成分等多功能的精炼设备。日本住友金属工业公司和歌山厂开发的 RH-PTB 水冷顶枪喷粉技术,为生产极低碳深冲钢和超低硫钢开辟了一条新的途径<sup>[1]</sup>。

对于 RH 真空精炼反应器,国内外已进行了大量的研究<sup>[2-9]</sup>,但对多功能 RH 精炼过程研究较少,尤其是顶枪喷粉过程的研究。均混时间是反映精炼效率的一个重要参数。因此,喷粉过程中粉剂的均混时间一直是被关注和重点研究的课题<sup>[10-13]</sup>,但对于 RH 真空精炼设备内粉剂的均混时间研究至今未见报道。

本文根据相似理论,模拟 RH-PTB 水冷顶枪喷粉过程,考察了操作参数对于粉剂的均混时间的影响,为 RH-PTB 水冷顶枪喷粉工艺和操作参数提供必要的依据和指导。

### 1 实验

根据相似理论建立物理模型,几何相似是将有机玻璃制成的模型尺寸与炼钢厂 RH 精炼设备尺寸成一定比例(见表 1),用自来水模拟钢水。动力相似则是在几何相似的前提下,保证模型与修正的弗鲁德准数相似,确定水模型实验中的所需吹气量。

表 1 RH 原型与模拟物理模型主要尺寸(9:1)/m  
Table 1 Main dimension of RH refining unit and simulation physical model (9:1) /m

项目	钢包直径	钢包液面高度	真空室直径	真空室内液面高度	浸渍管直径	顶枪直径
原型	3.900	4.000	2.560	0.420	0.540	0.120
模型	0.430	0.450	0.280	0.046	0.060	0.002

在吹气搅拌的情况下,钢水的均混时间由吹入气体引起的搅拌能密度的大小决定。在 RH 喷粉情况下,粉剂浸入液相后,体积变化可以忽略,

因此不考虑膨胀功,只考虑浮力作用和粉剂浸入液相时动能的作用。Irons 的研究表明<sup>[14]</sup>,喷粉过程中气体产生的搅拌能密度远大于粉剂产生的搅拌能密度,故粉剂对停留时间的影响很小,可以忽略不计。因此,在考察所喷入粉剂的混合特性时,实验中可以只吹气体,不喷吹粉剂,便可以研究喷粉过程的均混时间。本实验就是基于这样的考虑进行均混时间的测定。实验装置如图 1 所示。

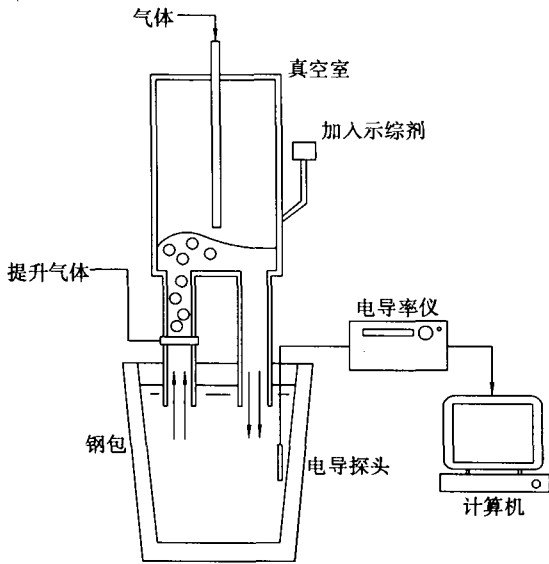


图 1 RH-PTB 真空精炼实验装置示意图

Fig.1 Schematic of experiment device for RH-PTB vacuum refining

采用示踪剂加入的方法来研究顶喷粉剂的混合特性。将一定量的饱和 NaCl 溶液由 RH 装置的真空室加入,同时用电导探头测量钢包中某一位置电导率的变化,水溶液的导电能力变化引起

电导探头获得变化的模拟电信号经过模/数转换卡转换成数字信号,由采集软件读取数据信号,并存入计算机硬盘形成数据文件,再对数据文件进行处理,这样便可得出粉剂在钢水中的均混时间。

## 2 结果与讨论

### 2.1 顶枪气量对均混时间的影响

由图 2(a)可以看出,顶枪气量很小时,粉剂在钢液中的均混时间变化很小。当顶枪气量增加时,粉剂在钢液中的均混时间逐渐变长。顶枪气量达到一定值时,粉剂的均混时间达最长。当顶枪气量超过该值时,均混时间随着顶枪气量的增加逐渐减少。实验过程中观察到,真空室内喷枪下形成的冲击坑对粉剂在钢液内的均混时间影响较大。顶枪气量很小时,形成的冲击坑很浅,对钢液流动形成的阻力很小,粉剂的均混时间基本没有变化。随着顶枪气量的增加,形成的冲击坑逐渐加深,对钢液流动形成的阻力随之增大,钢液流动变慢,则粉剂的均混时间逐渐变长。当顶枪气量超过一定值时,在真空室内流动钢液形成冲击坑进一步加深,但是其直径却随之变小,使得钢液流动受到的阻碍变小,流动速度逐渐加大,粉剂在钢液内部运动加快,则粉剂的均混时间减少。

### 2.2 提升气量对均混时间的影响

由图 2(b)可知,提升气体气量很小时,粉剂在钢液中的均混时间很长,随着气量的增加,粉剂的均混时间迅速减少,减少的幅度随提升气量的增加而减小。提升气量增加到某一值,提升气体气量再增加,粉剂在钢液内的均混时间反而变长,但是增大的幅度随提升气体气量的增加变化很小。钢液在真空室内流动的主要动力,来自于上

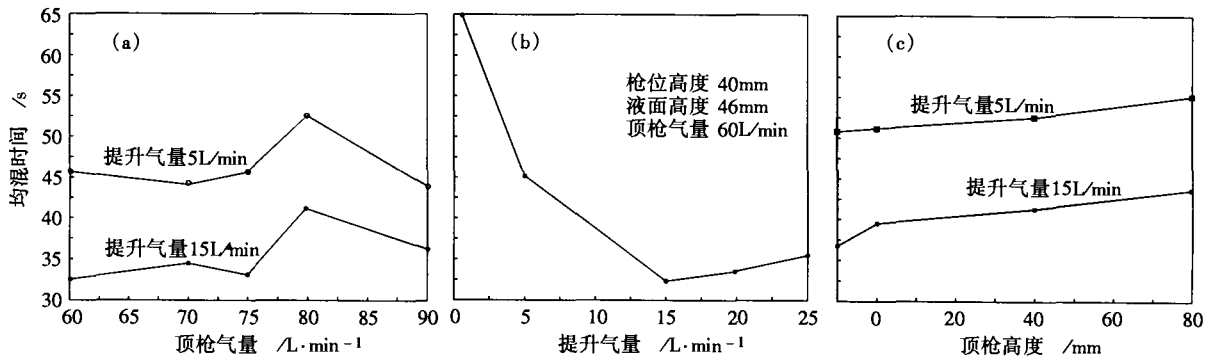


图 2 顶枪气量(a),提升气量(b),顶枪高度(c)对粉剂均混时间的影响

Fig.2 Effect of top lance gas flow rate (a), lifting gas flow rate of up-leg (b) and height of top lance (c) on mixing time of powder

升管通入的驱动气体在钢液内产生气泡所形成的浮力,在提升气体气量很小时,进入钢液内的气泡较少,形成的浮力有限,钢液的循环流量较小,喷入的粉剂在钢液内运动极慢,均混时间则较长。提升气量在较小范围内增加,吹气量的增加会明显提高液体循环流量<sup>[7]</sup>,使得粉剂在钢液内的均混时间迅速缩短。当提升气量增加到一定程度时,钢液循环达饱和态,再增大吹气量对提高循环流量作用不明显,则粉剂的均混时间不再继续减少。

### 2.3 顶枪枪位高度与均混时间的关系

图 2(c)为顶枪枪位高度与钢液内粉剂的均混时间关系图,当顶枪枪位在真空室内液面以下时,粉剂的均混时间较短。随着顶枪枪位的提高,粉剂的均混时间逐渐增大。顶枪枪位高于钢液液面后,粉剂的均混时间增大的速度逐渐减小。

RH 装置内的流场研究表明<sup>[3]</sup>,真空室内流动的钢液中,下层的钢液能够更加直接地到达下降管处,而上层的钢液则需横向移动一定的距离后再进入下降管。喷粉过程中,顶枪枪位位于液面下较深处时,喷入的粉剂能够进入流动钢液的下层,随着钢液的流动快速进入下降管,到达钢包后迅速进行下一次循环,故粉剂的均混时间较短。随着枪位的提高,喷入的粉剂逐渐进入流动钢液的上层,融入钢液的粉剂则需要移动稍长的距离,

才能到达下降管,粉剂的均混时间则增大。顶枪枪位高于钢液面,粉剂的均混时间的大小与形成的冲击坑大小和形状有关,2.1 节讨论了冲击坑加深对均混时间的具体影响。

### 3 结论

(1) 顶枪气量增加,粉剂在钢液中的均混时间随之增大。当顶枪气量达到一定值时,粉剂的均混时间最长。超过该值,均混时间随着顶枪气量的增加逐渐减少。控制顶枪气量是调整 RH-PTB 精炼设备内粉剂混合特性的重要措施。

(2) 顶枪喷吹时形成的冲击坑,阻碍钢液在真空室内的流动,影响粉剂在钢液中的均混时间,影响的大小与冲击坑的深度和形状有关。

(3) RH-PTB 装置内增大提升气量,粉剂的均混时间减少较快。达到一定数值后,尽管增加提升气量,均混时间不再继续减少。因此增加提升气量并不总是减少粉剂均混时间的有效方法。

(4) 粉剂的均混时间与顶枪枪位高度有一定关系。实际操作中,应根据实际情况,调整顶枪枪位与钢液面高度,减少粉剂的均混时间,提高粉剂在钢液中的使用效率。

本课题为国家技术创新资助项目(01BK-098-02-01)和辽宁省教育厅高校科学研究资助项目(2004D271)

### 参考文献

- 冈田泰和,家田幸治,真屋敬一,等. RH 粉体上吹精炼法の開発. 铁と钢, 1994, 80(1):9
- Kuwabara T, Umezawa K, Mori K, et al. Investigation of Decarburization Behavior in RH-Reactor and Its Operation Improvement. Transactions ISIJ, 1988, 28(4):305
- 朱苗勇,沙 骏,黄宗泽. RH 真空精炼装置内钢液流动行为的数值模拟. 金属学报, 2000, 36(11):1175
- Sehadri V. Cold Model Studies of RH Degassing Process. Transaction ISIJ, 1986, 26(2):133
- 郁能文,魏季和,樊养颐,等. RH 精炼过程中钢液流动特性的水模型. 东北大学学报, 1998, 19(S1):118
- Kato Y, Nakato H, Fujii T, et al. Fluid Flow in Ladle and Its Effect on Decarburization Rate in RH Degasser. ISIJ International, 1993, 33(10):1088
- 金永刚,许海虹,朱苗勇. RH 真空脱气动力学过程的物理模拟研究. 炼钢, 2000, 16(5):39
- 金永刚,许海虹,朱苗勇. RH-KTB 精炼中钢液溶氧过程动力学的水模拟研究. 钢铁研究学报, 2001, 13(3):1
- 朱苗勇,黄宗泽. RH 真空脱碳精炼过程的模拟研究. 金属学报, 2001, 37(1):91
- Ghosh D N and Lange K W. Behaviour of Jets of Argon-borne Particles Injected Into Liquids. Ironmaking and Steelmaking, 1983, 9(3):136
- Varadarajan Shshadri, Carlos Antonio Da Silva, Itavahn Alves Da Silva, et al. A Kinetic Model Applied to the Molten Pig Iron Desulfurization by Injection of Limed-based Powders. ISIJ International, 1997, 37(1):21
- Satish C. Koria and Rajiv Dutta. Study of the Effect of Some Process Parameters on Powder Injection Refining by a Mathematical Model. Scandinavian Journal of Metallurgy, 2000, 29:259
- Van Poucke N, Peeters L, Haers(Sidmar) F. Improvement of Dephosphorization and Decarburization by Injection of Metallurgical Powders in the RH. La Revue de Métallurgie-CIT, 2000, 4:527
- Irons G. A. Role of Mixing in Powder Injection Desulphurisation Processes. Ironmaking and Steelmaking, 1989, 16(1):28

杜成武(1966-),男,博士研究生,副教授。从事钢铁冶金的教学与科研工作。