

RH 真空精炼过程循环流量的水模型研究

欧洪林 包燕平 岳峰 林路

(北京科技大学冶金工程研究院, 北京 110083)

摘要 建立了钢厂 250 t RH 真空精炼装置 1/4 的水模型, 研究浸渍管内径 (520 ~ 750 mm)、驱动气体流量 (1 000 ~ 3 000 L/min)、浸渍管浸入深度 (525 ~ 800 mm) 和真空室压力 (0 ~ 25 kPa) 等参数对 RH 循环流量的影响。结果表明, 随驱动气体流量、浸渍管浸入深度增加、浸渍管内径增大以及真空室压力减少, RH 钢水循环流量增加; 为获得较大流量, 浸渍管浸入深度应 ≥ 560 mm, 真空室液面高度应 ≥ 200 mm。得出循环流量的回归方程, 通过对钢厂 250 t RH 设备工艺参数作相应调整后, RH 装置的生产效率明显提高。

关键词 RH 精炼 循环流量 水模型 真空室压力 回归方程

A Study of Water Modeling on Circulation Flow Rate in RH Vacuum Refining Process

Ou Honglin, Bao Yangping, Yue Feng and Lin Lu

(Metallurgy Engineering Research Institute, University of Science and Technology, Beijing 100083)

Abstract The water model of 1/4 scale of a 250 t RH vacuum refining unit at steel works has been established to study the effect of parameters including snorkel inside diameter (520 ~ 750 mm), lifting gas flow rate (1 000 ~ 3 000 L/min), immersion depth of snorkel (525 ~ 800 mm) and vacuum chamber pressure (0 ~ 25 kPa) on RH liquid circulation flow rate. Results show that with increasing lifting gas flow rate and immersion depth of snorkel, enlarging inside diameter of snorkel, and decreasing vacuum chamber pressure, the RH liquid circulation flow rate increases; in order to get larger flow rate, the immersion depth of snorkel should be ≥ 560 mm and the height of liquid surface in vacuum chamber should be ≥ 200 mm. The regression equation for circulation flow rate of liquid is obtained, and by adjusting corresponding process parameters for the 250 t RH unit at steel works, the production efficiency obviously increases.

Material Index RH Refining, Circulation Flow Rate, Water Model, Vacuum Chamber Pressure, Regression Equation

RH 真空精炼设备是生产超纯净钢的关键设备, 循环流量是反映 RH 真空精炼设备的重要指标^[1,2], 钢液成分和温度的均匀化, 脱碳等精炼的速率与效果都与之相关, 但许多水模型实验未考虑真空室压力对循环流量的影响^[3]。测量循环流量一般采用皮托管^[4]、溢流法^[5], 这些方法对流场均会产生一定影响, 从而影响结果的准确性。本研究通过超声波流量计在不破坏流场的前提下测量循环流量, 考察了驱动气体流量, 浸渍管浸入深度, 浸渍管内径, 真空室压力等因素对循环流量的影响。通过回归分析实验数据, 得到了循环流量与驱动气体流量、浸渍管浸入深度和浸渍管内径等因素的关系表达式。

1 试验方法

循环流量是指单位时间内通过 RH 真空室的钢液量, 在一定驱动气体流量和真空作用下, 水流在水模型中作稳定循环流动, 液体下降时通过的唯一通

道就是下降管, 所以本实验选用下降管中液体的体积流量作为循环流量, 超声波流量计安装在下降管上可以动态采集循环流量^[6]。实验装置如图 1 所示, 相关几何尺寸见表 1。本实验采用 TDS-100H 手持式超声波流量计测量循环流量。

以钢厂 250 t RH 真空精炼装置为原型, 原型与模型的几何相似比 λ 为 1: 4, RH 原型设备中钢水成分如表 2 所示。实验中采用向水中吹入氧气的方法来模拟现场的氩气吹入, 无论在实验中向水中吹入氧气, 还是实际生产中向钢液中吹入氩气, 均属气-液两相流动^[7]。因此可用修正的佛鲁德准数相等来换算实验中的实际驱动气体流量。模型中的标准气量和实际标准气量之间的关系式为:

$$Q_{\text{氧}0} = Q_{\text{Ar}0} \sqrt{\left(\frac{1}{\lambda}\right)^5 \cdot \frac{\rho_{\text{水}} - \rho_{\text{氧}}}{\rho_{\text{钢}} - \rho_{\text{Ar}}} \cdot \frac{\rho_{\text{氧}0}}{\rho_{\text{Ar}0}} \cdot \frac{P_{\text{水}}}{P_{\text{钢}}} \cdot \frac{T_{\text{钢}}}{T_{\text{水}}}} = 0.025 2 Q_{\text{Ar}0}$$

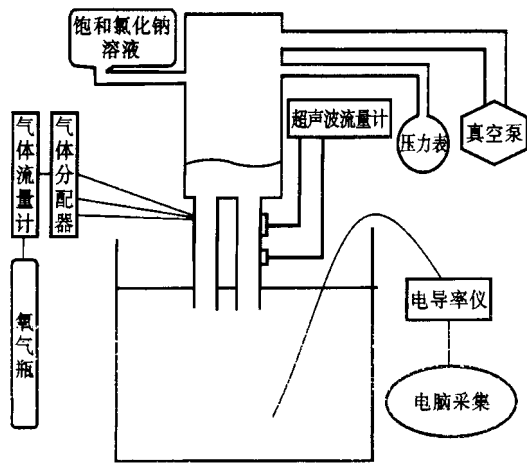


图 1 RH 水模型实验装置图
Fig. 1 Schematics of RH water model test device

表 1 水模型与 RH 原型的主要尺寸参数/mm

Table 1 Main dimension parameters of water model and RH prototype /mm

| 模型 | 真空室直径 | 浸渍管长度 | 浸渍管直径 | 钢包上直径 | 钢包下直径 | 钢包高 |
|-----|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| 水模型 | 187.5 | 418.75 | 577.5 | 984 | 903.75 | 1 052 |
| 原型 | 750 | 1 675 | 2 310 | 3 936 | 3 615 | 4 210 |

表 2 RH 精炼钢水的化学成分 /%

Table 2 Chemical composition of RH refining liquid /%

| 过程 | C | Si | Mn | P | S | Als | Ti | N |
|-------|---------|--------|-------------|---------|---------|---------------|---------------|---------|
| RH 进站 | ≤ 0.05 | ≤ 0.01 | 0.12 ~ 0.16 | ≤ 0.007 | ≤ 0.006 | - | - | - |
| RH 出站 | ≤ 0.003 | ≤ 0.01 | 0.12 ~ 0.22 | ≤ 0.010 | ≤ 0.008 | 0.020 ~ 0.050 | 0.067 ~ 0.080 | ≤ 0.002 |

式中： λ -原型与模型的几何相似比； $\rho_{\text{水}}、\rho_{\text{钢}}$ -水和钢液的密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ ； $\rho_{\text{氧0}}、\rho_{\text{Ar0}}$ -氧气和氩气标准状态下(压力 101 325 Pa, 温度 20 °C, 下同)密度/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ ； $\rho_{\text{氧}}、\rho_{\text{Ar}}$ -氧气和氩气实际状态下密度/

$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ ； $Q_{\text{氧0}}、P_{\text{水}}、T_{\text{水}}$ -模型中吹入气体在标准状态下流量/ $(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$,吹气口处压力/Pa,水的温度/K； $Q_{\text{Ar0}}、P_{\text{钢}}、T_{\text{钢}}$ -原型中吹入气体的标准状态下流量/ $(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$,吹气口处压力/Pa,钢水温度/K。

本实验采用钢包液面高度 945 mm 模拟 250 t 钢水处理量,选取不同的驱动气体流量、浸渍管浸入深度、浸渍管直径、真空室压力等参数,考察不同参数对循环流量和混匀时间的影响。试验中选取了实际生产中驱动气体流量为 1 000 ~ 3 000 L/min,浸渍管浸入深度为 480 ~ 800 mm,浸渍管内径为 520 ~ 750 mm,真空室压力为 67 ~ 25 000 Pa。

2 结果分析及讨论

2.1 驱动气体流量的影响

图 2(a)表明在不同浸入深度时,随着驱动气体流量的增加,气体做功增多,因而随驱动气体流量增加循环流量增大。随驱动气体流量的增加,循环流量增加幅度逐渐减小,是由于上升管内气流股相互干扰,产生旋流或涡流所致。

2.2 浸渍管浸入深度的影响

图 2(b)表明在不同驱动气体量时,随浸入深度增加,气泡行程增加,气体做功增加,因而随浸入深度增加循环流量增大。当浸渍管浸入深度 500 mm 到 560 mm 时,循环流量随浸渍管浸入增加而增加的幅度较大;当浸渍管浸入深度大于 560 mm 时,循环流量随浸渍管浸入深度增加而增加的幅度很小。当浸入深度过深时,虽然气泡做功增加,但是气泡上升过程中克服阻力消耗的功也增加,故浸渍管浸入深度超过一定值后,再增加浸渍管浸入深度对提高循环流量作用不大。

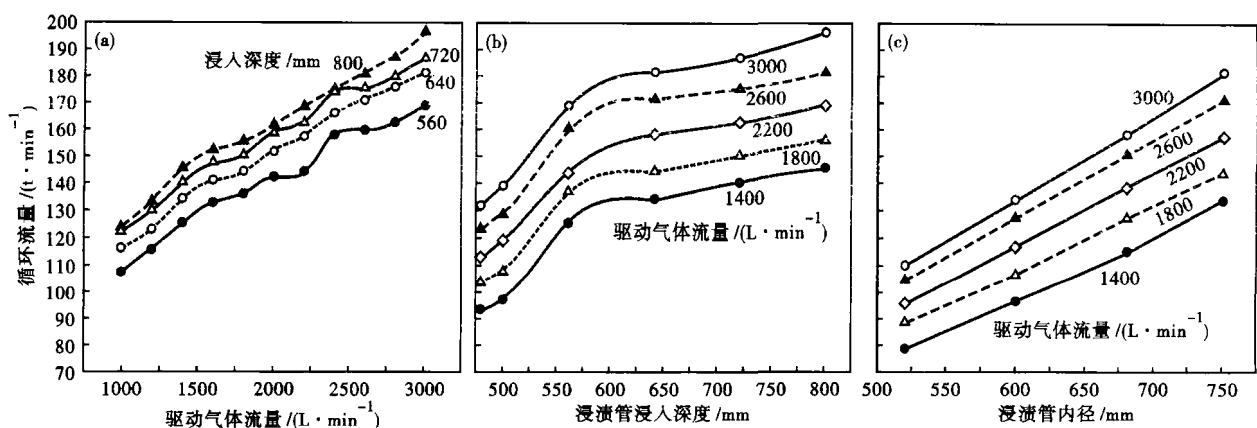


图 2 驱动气体流量(a),浸渍管浸入深度(b)和浸渍管内径(c)对 RH 钢水循环流量的影响

Fig. 2 Effect of lifting gas flow rate (a), immersion depth of snorkel (b) and inside diameter of snorkel (c) on RH liquid circulation flow rate

2.3 浸渍管内径的影响

图2(c)表明在不同驱动气体流量时,循环流量随浸渍管内径增大显著增加。在较小浸渍管内径条件下,增加吹入气体量来提高RH的循环流量相对困难。根据气泡泵的原理,当RH真空槽内的真空度控制在某一定值时,钢水在真空室内上升的高度是一致的,与浸渍管内径无关,因此,浸渍管直径大的被真空抽吸上来的钢水量就比浸渍管内径小的所抽吸的钢水量多。采用同样流量的驱动气体所能带动的钢水量就增加了,钢水环流量提高了,同时管径大环流面积大,环流受到管子形状、涡流等影响小,分散的气泡群有可能获得足够的抽吸力,有利于循环流量的提高。

2.4 循环流量的回归公式

通过实验数据回归分析得到的循环流量的回归公式为:

$$Q_{\text{Cir}} = 7.22 \times 10^{-6} \times Q_{\text{氧0}}^{0.411} \times H^{0.742} \times D^{1.351}$$

式中: Q_{Cir} -循环流量/($\text{t} \cdot \text{min}^{-1}$); $Q_{\text{氧0}}$ -驱动气体流量/($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$); H -浸渍管浸入深度/mm; D -浸渍管内径/mm。该回归公式的相关系数为0.99。回归公式表明,循环流量与浸渍管内径呈1.351次幂的关系远大于与驱动气体流量的0.411次幂关系和与浸渍管浸入深度的0.742次幂的关系,故增大浸渍管内径较其他方式增大循环流量较显著。

2.5 真空室压力的影响

图3(a)表明,在浸渍管浸入深度不变的情况下,循环流量随真空室压力增大而减小。真空室压力增大的同时,真空室液面下降,因而气泡行程随之减小,从而气泡做功减少,溶液重力势能减小,下降管流速降低。真空室压力较高的条件下,气泡膨胀体积变小,气泡浮力做功减小。

图3(b)表明在实验模拟现场真空室液位高度为240 mm,真空室液面高度不变时,循环流量随着真空度而变化幅度比较小,变化范围在130.3 t/min到118.5 t/min之间。这表明真空室液面高度不变,不同真空度下的循环流量基本不变。实验结果说明真空室的液面高度对循环流量起着很大作用。

3 结论

(1)为了得到较大的循环流量,浸渍管浸入深

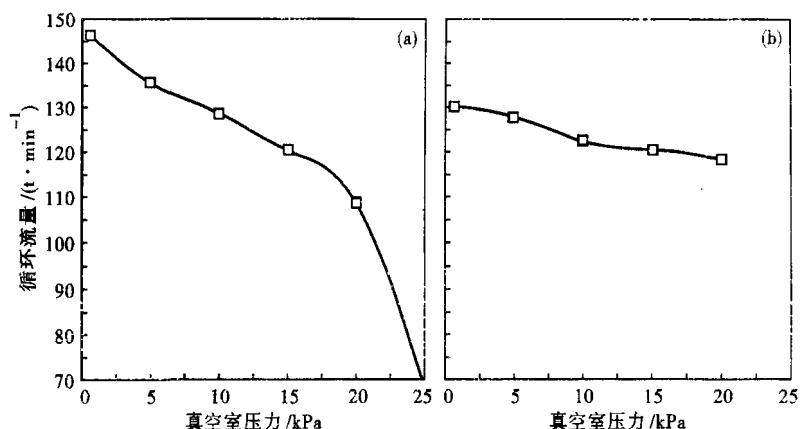


图3 浸渍管浸入深度不变时真空室压力(a)和液面高度不变时真空室压力(b)对RH钢水循环流量的影响

Fig.3 Effect of vacuum chamber pressure at steady state immersion depth of snorkel (a) and vacuum chamber pressure at constant level of liquid in vacuum chamber (b) on RH liquid circulation flow rate

度不应低于560 mm。

(2)循环流量的回归方程式为:

$$Q_{\text{Cir}} = 7.22 \times 10^{-6} \times Q_{\text{氧0}}^{0.411} \times H^{0.742} \times D^{1.351}$$

由该回归方程式可知,循环流量随浸渍管内径增大而显著提高。

(3)真空室液面的高度对循环流量的影响很大,应保证真空室液面高度大于200 mm。

(4)当250 t精炼装置的浸入深度600 mm到650 mm,驱动气体流量2600 L/min,真空室压力100 Pa,循环流量达到170 t/min到180 t/min时,设备生产率显著提高。

参考文献

- 舒宏富,宋超,张晓峰,等. RH-MFB真空精炼过程中循环流量的物理模拟研究. 材料与冶金学报,2004,3(2):107
- 贾斌,陈义胜,贺友多. RH真空处理设备循环流量的研究. 包头钢铁学院学报,2000,19(1):34
- 耿佃桥,雷洪,张兴武,等. RH-PTB循环流量和混匀特性的水模型研究. 东北大学学报(自然科学版),2010,31(8):1126
- Hanna C A, Jones T, Blake R I, et al. Water Modeling to Aid Improvement of Degasser Performance for Production of Ultralow Carbon Interstitial Free Steels. Ironmaking and Steelmaking, 1994, 21(1):37
- 彭一川,李洪利,刘爱华,等. RH水模型的理论和实验研究. 钢铁, 1994, 29(12):15
- Ahrenhold Frank and Pluschkell Wolfgang. Circulation Rate of Liquid Steel in RH Degassers. Steel Research, 1998, 69(2):54
- Silva C A da, Silva I A da, Castro Martins E M de, et al. Fluid Flow and Mixing Characteristics in RH Degassers of Companhia Siderurgica de Tubarao, and Influence of Bottom Gas Injection and Nozzle Blockage Through Physical Modeling Study. Ironmaking and Steelmaking, 2004, 31(1):37

欧洪林(1985-),男,硕士研究生,2009年四川大学毕业,钢铁研发,二次精炼技术研究。

收稿日期:2010-12-20