

· 试验研究 ·

300 t RH 精炼装置浸渍管浸入深度的试验研究

李应江

(马鞍山钢铁股份有限公司第四钢轧总厂, 马鞍山 243011)

摘要 基于相似原理,按照 1:4 的比例对马钢 300 t RH 精炼装置建立了水模型,考察了不同浸渍管浸入深度对循环流量、混匀时间、真空室内停留时间等参数的影响。试验结果表明,随着浸入深度的增加,循环流量呈上升趋势,当浸渍管浸入深度大于 500 mm 时,循环流量上升趋势减缓;浸渍管浸入深度大于 500 mm 时,混匀时间出现低点;当浸入深度到达 520 mm 时,真空室停留时间上升趋势开始减弱,当浸入深度超过 560 mm 后,真空室停留时间变化较小。综合考虑以上因素,马钢 300 t RH 最佳的浸渍管浸入深度应控制在 520 ~ 560 mm 内。

关键词 300 t RH 浸渍管 最佳插入深度

Experimental Study on Impregnation Depth of Immersion Tubes in 300 t RH Refining Unit

Li Yingjiang

(No. 4 Steelmaking and Rolling General Plant, Ma'anshan Iron and Steel Co Ltd, Ma'anshan 243011)

Abstract Based on analogy theory, 1:4 water model has been established for 300 t RH refining unit at Masteel. The effects of different immersion depth on circulation flow, mixing time and residence time of vacuum chamber were investigated. Test results show that the circulating flow rate increases with the increase of immersion depth. When the immersion depth is greater than 500 mm, the upward trend of circulating flow slows down. When immersion depth is greater than 500 mm, the mixing time is low. When the immersion depth reaches 520 mm, the rising trend of the residence time of the vacuum chamber begins to weaken. When the immersion depth exceeds 560 mm, the residence time of the vacuum chamber changes little. Taking account of the above factors, the optimum immersion depth of 300 t RH at Masteel should be controlled within 520 ~ 560 mm.

Material Index 300 t RH, Immersion Tubes, Optimum Immersion Depth

近年来,随着 RH 精炼装置的广泛应用和发展, RH 精炼技术向着高效化与高精度化方向发展,即在较短精炼时间内实现成分准确控制。循环流量与混匀时间是 RH 装置的重要特征参数,对 RH 精炼效果,包括脱碳速率、脱氧、脱氮,去夹杂以及成分混匀等有着重要影响。为改善 RH 环流参数,国内外开展了很多研究^[1-5],但受设备尺寸参数以及操作条件的影响,不同 RH 精炼装置环流参数差别较大。马鞍山钢铁股份有限公司(以下简称马钢) 300 t RH 精炼装置在 IF 钢生产过程中存在碳、氮、氧等成分控制不稳定问题,这给生产和产品质量都带来一

定影响。为改善 RH 精炼效果,以马钢 300 t RH 精炼装置为原型,于 2016 年 6 月通过水模试验研究了不同浸渍管浸入深度对钢水环流参数的影响,以确定最佳浸渍管浸入深度,为生产工艺操作改进提供了借鉴。

1 实验原理及方法

1.1 几何相似和动力相似

实验以 300 t RH 真空精炼装置为原型,确定模型和原型的几何相似比为 $\lambda = 1:4$,主要参数见表 1。采用水模拟钢液,压缩空气模拟氩气。选用修正

表 1 RH 原型及模型的主要参数
Table 1 Main parameter of RH prototype and model

项目	钢包直径/mm		钢包熔池深度/mm	真空室直径/mm	浸渍管直径/mm		吹气孔 数量/个	吹气孔 距浸渍管底部 的距离/mm	钢液面高度/mm	
	上口	下口			内径	外径				排列方式
原型	4 250	3 800	5 150	2 650	750	1 490	上下交错排列	16	180.389	4 444
模型	1 062.5	950	1 287.5	662.5	187.5	372.5	上下交错排列	16	45.95	1 111

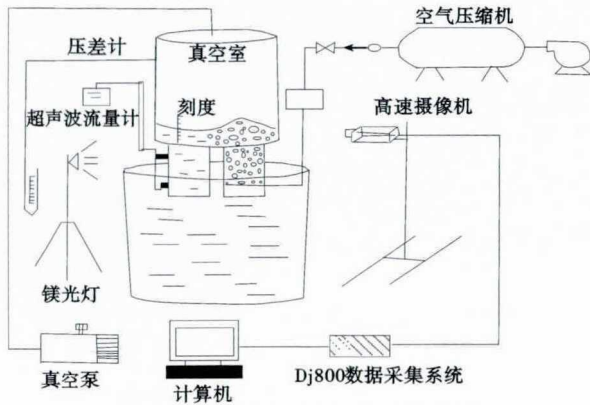


图 1 RH 水模型实验装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of experimental device of RH water model

Froude 准数为相似准数^[6], 计算出对应于原型提升气体流量的模型流量。

1.2 实验方法

实验装置如图 1 所示。

循环流量是单位时间内通过 RH 真空室的钢液流量, 是反映 RH 装置处理效率的一个重要指标。因此对 RH 装置内钢液的循环流动流场的实验研究成为研究 RH 精炼的重要部分^[6-8]。本实验循环流量的测量采用 TDS-100H 手持式超声波流量计, 其原理是利用超声波在不同流体状态下的不同传播速度而产生时差, 通过对时间差 Δt 的测量, 经计算得到液体截面的平均流量和流速。采用超声波流量计测量下降管流量时, 流量值在显示窗口实时显示, 待实验条件下的流体流动稳定后, 每隔 10 s 记录一次流量值, 然后将 25 个流量值的平均值作为该实验条件下的循环流量值。

混匀时间是反映精炼效率的一个重要参数^[9-11]。混匀时间越短说明反应器的反应效率越高。本实验中, 混匀时间采用 DDLY-2005 型电导率仪进行测量。将电极探头固定在距钢包液面下 700 mm 处。采用刺激-响应的方法, 从下降管注入 100 ml KCl 饱和溶液, 数据采集系统采集不同实验条件下的电导率值, 分析电导率值随时间变化的曲线。当电导率 $|K_t - K_\infty| \leq 0.005 \text{ mS/cm}$ 时, 则认为该实验条件下钢液已经达到充分混匀的程度。每个方案进行 3 次实验, 去掉异常值, 将剩余值的平均值作为该方案的最终混匀时间。本试验取 $|C_t - C_\infty| \leq 0.01 C_\infty$ 为标准, 作为其电极的稳定时间。实验数据采集时间为 360 s, 采集数据时间间隔为 0.01 s。

本试验真空室停留时间的测量方法依然采用刺激-响应的方法。从上升管靠近真空室底部的位置

注入示踪剂, 在真空室出口处用电导率探头监测示踪剂浓度变化。真空室停留时间认为是 3 个点电极探头响应时间的平均值。

通过不同 RH 浸渍管浸入深度对循环流量、混匀时间、真空室停留时间等参数的影响来研究其对 RH 内钢液循环流动行为的影响。

2 试验结果与讨论

2.1 不同浸渍管浸入深度对对循环流量的影响

现场浸渍管直径 750 mm、模拟实际生产极限真空室压力 67 Pa、吹气孔为 16 孔双排对称分布。选取提升气体流量分别为 130 m³/h、150 m³/h 和 180 m³/h 与不同浸入深度优化试验。具体方案如表 2 所示。

图 2 为不同浸渍管浸入深度对循环流量的影响。由图 2 可以看出, 随着浸渍管浸入深度的增加, 循环流量呈上升趋势, 并且上升趋势随着浸入深度的增加, 逐渐减缓。综合 130 m³/h, 150 m³/h 和

表 2 提升气体流量及浸入深度优化设计表
Table 2 Optimization design table of argon flow rate and immersion depth

浸渍管浸入深度/mm	提升气体流量/(m ³ ·h ⁻¹)		
	130	150	180
400	1#	12#	23#
420	2#	13#	24#
440	3#	14#	25#
460	4#	15#	26#
480	5#	16#	27#
500	6#	17#	28#
520	7#	18#	29#
540	8#	19#	30#
560	9#	20#	31#
580	10#	21#	32#
600	11#	22#	33#

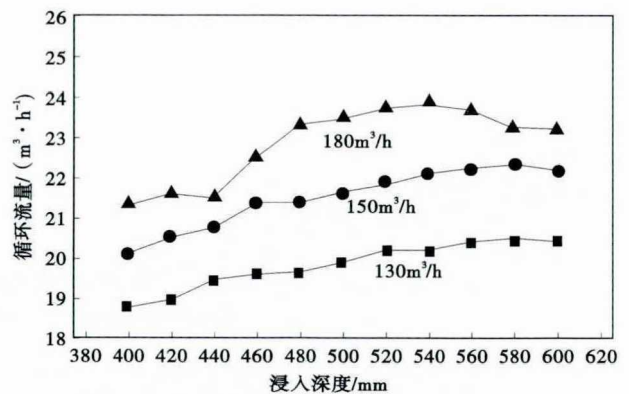


图 2 循环流量与浸入深度的关系

Fig.2 Relationship between circulation flow rate and immersion depth

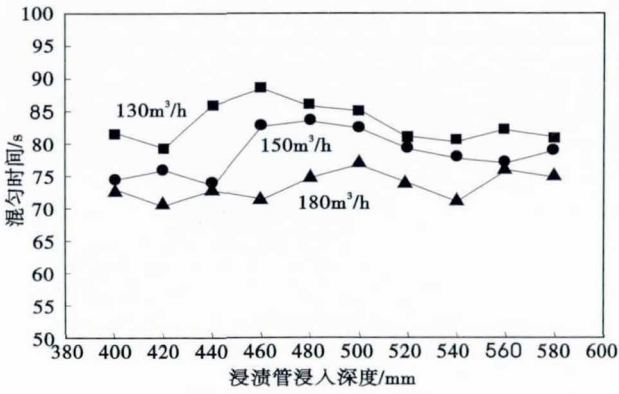


图 3 浸渍管浸入深度与混匀时间之间的关系

Fig. 3 Relationship between immersion depth and mixing time of immersion tube

180 m³/h 三个气量下循环流量变化规律,当浸入深度大于 500 mm 之后,增加浸入深度对循环流量的增大作用不明显。因此,从循环流量角度分析,浸渍管浸入深度大于 500 mm 较合适。

2.2 不同浸渍管浸入深度对混匀时间的影响

图 3 为不同提升气体流量下,混匀时间随浸渍管浸入深度的变化情况。通过图 3 可以看出,浸渍管浸入深度对混匀时间的影响不是很大,并且混匀时间并不是随着浸渍管浸入深度的增加而减小的。当浸入深度达到 500 mm 之后,其混匀时间出现低点。因此,从混匀时间指标考虑,浸渍管浸入深度应大于 500 mm。

2.3 不同浸渍管浸入深度对真空室内停留时间的影响

真空室作为脱碳反应发生的主要场所,每次循环过程钢液在真空室内的停留时间越长,脱碳效果越好,所以将真空室内钢液的停留时间作为评判精炼效果的参考标准。

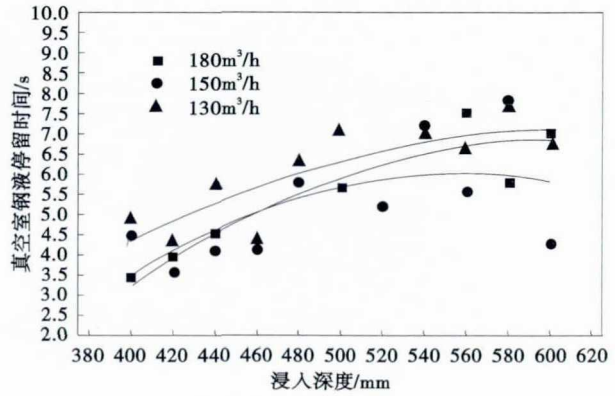


图 4 真空室钢液停留时间随浸入深度变化关系

Fig. 4 Relationship between residence time of liquid in vacuum chamber and immersion depth

试验过程中,从上升管顶端注入示踪剂,选取下降管顶端作为测点,从示踪剂开始注射到上升管作为其开始时间,追踪钢液到达下降管顶端时间,并以示踪剂浓度的峰值所在时间,做为钢液的停留时间。

图 4 为三种不同提升气体流量条件下浸渍管浸入深度对钢液真空室停留时间的影响。由图 4 可知,钢液在真空室停留时间随着浸入深度的增加不断增加,但浸入深度到达 520 mm 时,上升趋势开始减弱,即随着浸入深度的增加,其真空室停留时间变化不再明显并开始出现平台,当其浸入深度超过 560 mm 后,真空室停留时间变化较小。因此从真空室内停留时间指标考虑,其浸渍管浸入深度应大于 520 mm,但不应超过 560 mm。

3 生产实践应用效果

根据前述试验研究,浸渍管浸入深度应大于 520 mm,但不应超过 560 mm。2017 年在冶炼 IF 钢时对浸渍管浸入深度参数进行了优化。工艺优化前

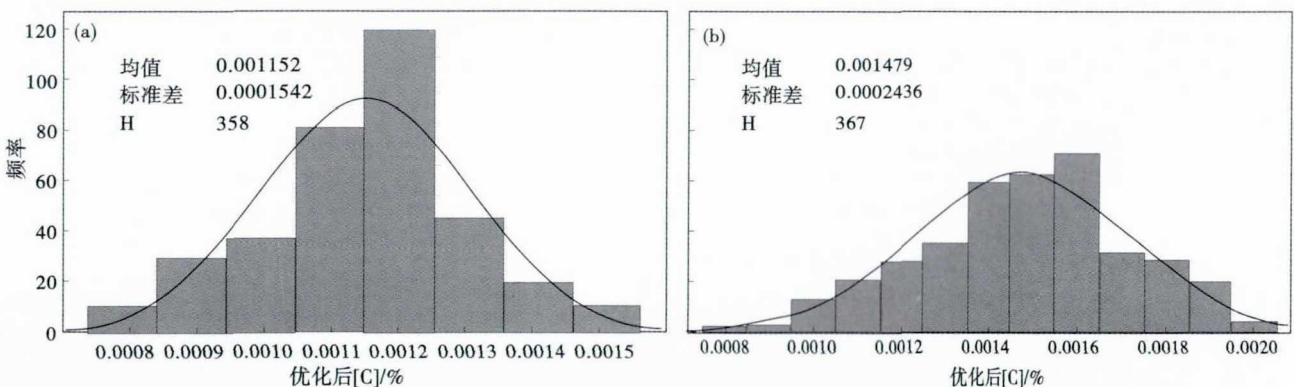


图 5 浸渍管浸入深度优化后(520 mm) (a) 和优化前(450 mm) (b) RH 出站 [C] 的分布

Fig. 5 Distribution of [C] at RH end point after immersion depth optimization(520mm) (a) and before immersion depth optimization (450mm) (b) of immersion tube

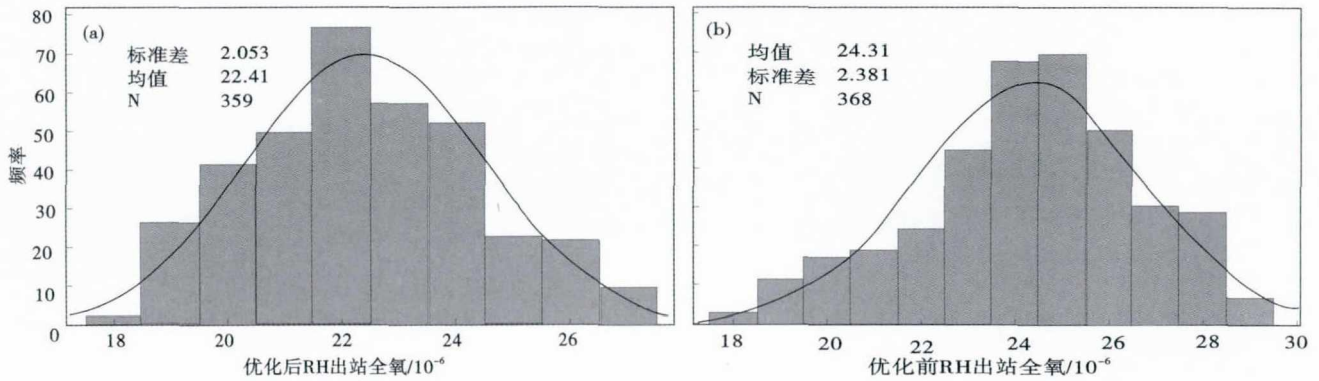


图 6 浸渍管浸入深度优化后(520mm)(a)和优化前(450 mm)(b)RH 出站 T[O]的分布

Fig. 6 Distribution of T[O] at RH end point after immersion depth optimization(520mm) (a) and before immersion depth optimization(450mm)(b) of immersion tube

后效果如图 5 ~ 图 6 所示。

根据图 5 ~ 图 6, 浸渍管浸入深度优化后(520 mm), RH 出站 [C] 平均为 0.001 152%, 低于优化前(450 mm)的 0.001 479%, 降低了 22%; 浸渍管浸入深度优化后(520 mm), RH 出站 T[O] 平均为 0.002 24%, 低于优化前(450 mm)的 0.002 43%, 降低了 7.8%。

4 结论

(1) 从循环流量角度考虑, 随着浸渍管浸入深度的增加, 循环流量呈上升趋势, 当浸渍管浸入深度在大于 500 mm 时, 循环流量上升趋势减缓, 因此浸渍管浸入深度应大于 500 mm。

(2) 从混匀时间角度考虑, 当浸渍管的浸入深

度达到 500 mm 后, 混匀时间出现低点。因此, 浸渍管浸入深度应大于 500 mm。

(3) 从真空室停留时间角度考虑, 当浸入深度到达 520 mm 时, 上升趋势开始减弱, 即随着浸入深度的增加, 其真空室停留时间变化不再明显并开始出现平台, 当其浸入深度超过 560 mm 后, 真空室停留时间变化较小。因此浸渍管浸入深度应大于 520 mm, 但不应超过 560 mm。

(4) 生产实践表明, 浸渍管浸入深度优化后, RH 出站 [C] 降低了 22%, RH 出站 T[O] 降低了 7.8%。

综合考虑以上因素, 马钢 300 t RH 最佳的浸渍管浸入深度应控制在 520 ~ 560 mm 内。

参考文献

[1] 黄治军, 王玉涛, 胡家国. ER70S. 6 焊丝焊接工艺性能的研究 [J]. 钢铁研究, 2012, 40(1): 20-22.

[2] 徐云龙, 王志福. 焊丝钢 ER70S. 6 化学成分的优化 [J]. 炼钢, 2010, 26(6): 69.

[3] 高海. ER70S 6 钢盘条质量分析与工艺优化 [J]. 炼钢, 2012, 28(4): 32-35.

[4] 王剑斌, 李京社, 杨树峰, 等. ER70S-6 焊丝钢洁净度和表面质量研究 [J]. 中国冶金, 2007, 7(5): 43-46.

[5] 张春燕, 陈兴伟, 张晓香, 等. ER70S. 6 盘条质量分析与生产工艺改进 [J]. 金属制品, 2011, 37(2): 53-59.

[6] Iguchi M. Water Model Experiment on Bubble Behavior in Cylindrical Vessel Under Reduced Pressure [J]. Tetsu-to-Hagane, 1994, 6(10): 727.

[7] 贾斌, 陈义胜, 贺友多. RH 真空处理设备循环流量的研究 [J]. 包头钢铁学院学报, 2000, 19(1): 34-35.

[8] 樊世川, 熊果元. 新结构 RH 真空脱气装置水模型实验观察 [J]. 真空, 2001, 5(6): 35-36.

[9] Nakanishi K, Szekeley J, Chang C W. Experimental And theoretical Investigation of Mixing Phenomena in the RH Vacuum Process [J]. Ironmaking and Steelmaking, 1975, 2(5): 115-124.

[10] 艾新港, 李胜利, 包燕平, 等. RH 工艺及吹气孔堵塞对钢液混匀的影响 [J]. 炼钢, 2011, 27(4): 58-58.

[11] 杜成武, 朱苗勇, 潘时松, 等. RH. PTB 真空精炼装置内熔池混匀时间的研究 [C]. 2005 中国钢铁年会论文集, 北京, 2005: 262-262.

李应江(1976-), 男, 硕士(2009年北京科技大学), 高级工程师, 2008年华东冶金学院(本科)毕业, 二次精炼研究。 E-mail: 193864345@qq.com

收稿日期: 2018-09-06