

100 t 铁水脱硫顶吹辅助扒渣工艺水模型试验和应用

李明晖^{1,2} 李远兵¹ 欧阳德刚² 王兴东¹ 邓品团³ 张爱平⁴

(1 武汉科技大学省部共建耐火材料与冶金国家重点实验室, 武汉 430081;

2 武汉钢铁(集团)公司研究院, 3 炼钢总厂, 武汉 430083; 4 武汉红地节能材料有限公司, 武汉 430083)

摘要 通过1:6水模型试验分析了顶枪吹气辅助扒渣过程中的驱渣动力学机制, 试验研究了喷吹气体流量(10~30 L/min), 喷枪插入深度(90~270 mm)和位置(距边缘0~160 mm)对扒渣效果的影响。结果表明, 随着喷吹气体流量、顶吹喷枪插入深度的增大和喷枪插入位置至铁水罐后壁距离减少, 驱渣效果显著改善, 有利于铁水渣的扒除。工业应用试验结果表明, 采用顶吹辅助扒渣工艺后, 扒渣时间明显缩短, 但铁损没有显著降低, 须进一步优化工艺参数。

关键词 100 t 铁水脱硫 扒渣 顶吹 水模型试验 应用

Water Model Experiment of Auxiliary Slag Skimming Process by Top Blowing during 100 t Hot Metal Desulphurization and Application

Li Minghui^{1,2}, Li Yuanbin¹, Ouyang Degang², Wang Xingdong¹, Deng Pintuan³ and Zhang Aiping⁴

(1 The State Key Laboratory of Refractories and Metallurgy, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081;

2 Research and Development Centre, 3 Steelmaking General Plant, Wuhan Iron and Steel (Group) Corp, Wuhan 430083;

4 Wuhan Hongdi Energy-Saving Material Co Ltd, Wuhan 430083)

Abstract The dynamic mechanisms about slag skim during top lance blowing gas skimming slag process are analyzed by 1:6 water model test, and the effect of blowing gas rate (10~30 L/min), lance submerged depth (90~270 mm) and lance location (distance from edge 0~160 mm) on slag skimming results has been tested and studied. Results show that with increasing blowing gas rate and top lance submerged depth and reducing the distance between the submerged location of lance and the hot metal ladle back wall, the results of slag skimming are obvious improvement, it is available to skim slag on hot metal. Commercial application pilot production results show that with using top-blowing auxiliary skimming slag process the slag skimming time is markedly reduced, but the iron loss is not obvious decrease, it needs to further optimize process parameters.

Material Index 100 t Hot Metal Desulphurization, Slag Skimming, Top Blowing, Water Model Simulation Examination, Application

铁水扒渣是钢水洁净度控制的关键技术之一, 也是洁净钢高效、稳定、低成本大规模生产的必备手段^[1]。

目前, 国内外普遍采用的铁水罐扒渣方式为机械扒渣法, 由于该法铁水罐后墙区域难以触及, 形成扒渣死区, 导致扒渣效率低、铁损高、回硫控制困难等不足^[2-4]。为此, 开发了多种铁水罐吹气辅助扒渣工艺, 并在实际生产中取得了缩短扒渣时间的良好效果^[4-9]。其中, 顶枪吹气辅助扒渣工艺以其实施便利、操控灵活、无渗铁风险等优点而得到钢铁企业重视。但至今对该工艺气体驱渣机理研究尚不透彻, 同时, 在实际生产中该工艺还存在扒渣铁损大、罐壁磨损风险高等不足^[10-12], 其辅助扒渣效果仍有较大优化空间。

1 水模型试验方法与装置

采用有机玻璃制作铁水罐和顶吹喷枪模型, 模

型与原型相似比例为1:6; 用水模拟铁水, 聚苯乙烯泡沫模拟渣层(图1)。试验中喷枪在试验罐后壁区域沿后壁插入水中, 通过顶枪吹气搅动, 喷枪附近形成了无渣裸露液面(图2), 裸露液面长度和宽度越大, 裸露液面轮廓线越接近直线, 则越有利于扒渣机的扒渣操作, 也就标志着驱渣效果越好。

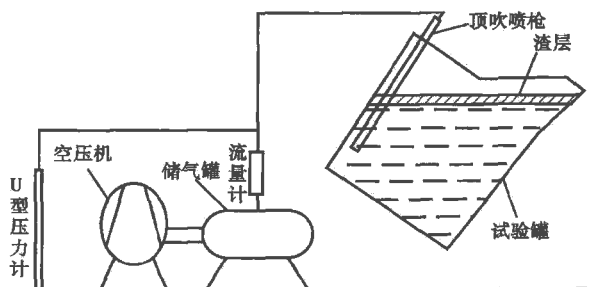


图1 水模型试验装置示意图

Fig.1 Schematics of water model examination device

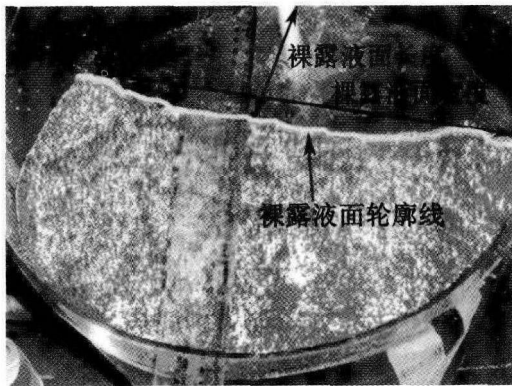


图 2 裸露液面长度和宽度示意图

Fig. 2 Schematics of length and width of bare surface of liquid

按照相似原理要求,除应满足几何相似外,模型与原型之间还应保证运动相似和动力相似,即应该保证两个系统间的弗鲁德准数及雷诺准数分别相等。而由于原型和模型中流动状态均处于第二自模化区,故采用修正的弗鲁德准数来确定喷吹气体流量即可^[13]。水模型试验中喷吹气体流量分别为 10、20、30 L/min;铁水罐原型公称容量 100 t,模型总高度为 500 mm,顶吹喷枪插入水中深度分别为 90 mm(距罐底 180 mm)、180 mm(距罐底 90 mm)、270 mm(距罐底 0),水模型试验过程中喷枪轴线始终与罐壁保持平行,具体插入位置为距离试验罐后壁 0、80、160 mm(铁水罐模型直径为 450 mm)。

2 试验结果与讨论

2.1 熔池流动状态与驱渣原理分析

顶枪吹气辅助扒渣的驱渣机理是指向扒渣口的液面水平作用力,通过液面水平驱动力的作用,使铁水罐后壁区域铁水渣向渣口方向聚集,实现吹气辅助扒渣的目的。其液面水平驱动力来自于两个方面:(1)气泡上浮膨胀以及气泡溢出产生的水平推力,(2)铁水罐倾斜后壁对上浮气泡流股抑制转向形成的水平推力,其动力来源为气体喷射动能和喷枪插入深度形成的气泡势能,即搅拌能。

2.2 工艺参数对驱渣效果的影响

顶枪吹气辅助扒渣动力来源为喷吹气体的搅拌能;一般冷态水模型试验中吹气搅拌能密度用计算公式(1)表示^[14]。因而,影响吹气搅拌能密度的主要工艺因素有:喷吹气体流量、喷枪插入深度;此外,对于顶枪吹气辅助扒渣工艺,由于喷枪沿铁水罐后壁区域(偏心)插入,喷枪插入点位置也是影响顶枪吹气辅助扒渣吹气搅拌动能的一个操作工艺参数。

$$\varepsilon = \frac{RT_l Q_g}{V_N M_l} \left[\ln \frac{P_l}{P_{atm}} + \frac{\eta}{2} \frac{M_g}{RT_l} \left(\frac{Q_g}{A_o} \right)^2 \right] \quad (1)$$

式中: ε - 搅拌能密度; R - 气体常数; T_l - 液体温度; Q_g - 气体流量; V_N - 气体摩尔体积; M_l - 液体质量; P_l - 环境压力; η - 有效系数; P_{atm} - 大气压力; M_g - 气体质量; A_o - 喷嘴出口面积。

2.2.1 喷吹气体流量对驱渣效果的影响

由图 3 可见,在喷枪插入位置 0 mm、插入深度 270 mm 条件下,随着喷吹流量的增大,液面裸露面积增大,裸露面泡沫颗粒边缘向扒渣口逐渐推进,边缘轮廓线由弧线向直线转化,驱渣效果不断改善。由图 4 可见,不同喷枪插入深度条件下,随着喷吹气

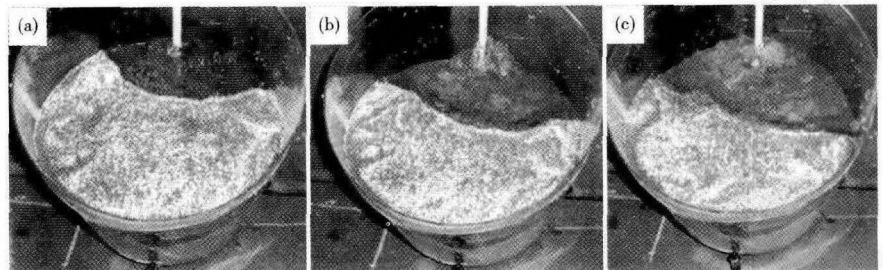


图 3 喷吹气体流量 10 L/min(a), 20 L/min(b) 和 30 L/min(c), 喷枪插入位置 0 mm, 插入深度 270 mm 时液面情况

Fig. 3 Condition of surface of liquid with blowing gas rate 10 L/min (a), 20 L/min (b) and 30 L/min (c); lance submerged location 0 mm and submerged depth 270 mm

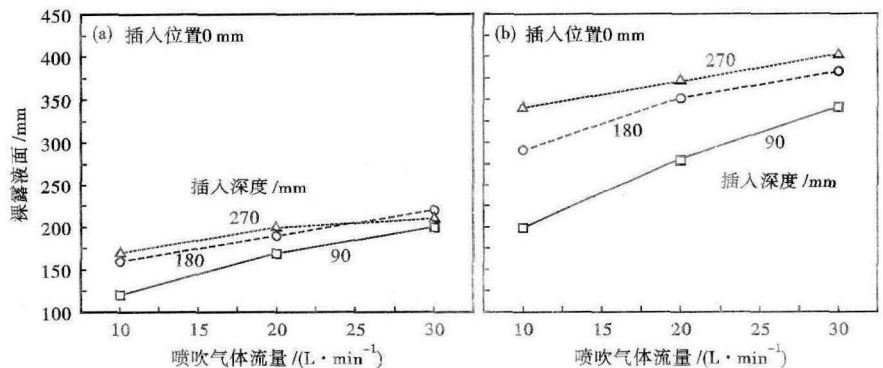


图 4 喷吹气体流量对裸露液面长度(a)和宽度(b)的影响

Fig. 4 Effect of blowing gas rate on length (a) and width (b) of bare surface of liquid

体流量的增大,裸露液面长度和宽度均不断增大,裸露面积增加迅速。由式(1)可知,随着喷吹气体流量的增大,喷吹气体的搅拌能密度将不断增加,对熔池液体的搅拌作用不断增强,液面处渣层受到的水平推力持续增大,改善了驱渣效果;但当喷吹气体流量增加到一定程度时,观察到液体喷溅和卷渣(裸露液面边缘泡沫翻卷)现象,在实际生产中易引起铁水渣中凝铁含量增大,喷溅铁损增加,导致扒渣铁损高。

2.2.2 喷枪插入深度对驱渣效果的影响

由图5可知,随着喷枪插入深度的增大,液面裸露面积增大,边缘轮廓线由弧线向直线转化,驱渣效果越好。由图6可以看出,随着喷枪插入深度的增加,裸露液面长度和宽度呈曲线增大趋势,增大幅度先大后小。由搅拌能密度公式(1)可知,喷枪插入深度越大则环境压力(P_l)越大,相同条件下搅拌能密度将增加^[14],气泡的上升距离增加,参与循环流动的液体数量明显增多,气泡上浮所做的功也越大,抵达液面时对于渣层的推力也就越大,有利于驱渣效果的改善。而当喷枪插入深度较小时,气泡的上浮至液面的溢出速度小,对熔池产生的搅拌作用减弱,对于渣层的推力减小。

2.2.3 喷枪插入位置对驱渣效果的影响

由图7可知,喷枪插入点位置对裸露面边缘至喷枪插入线距离影响较大,随着喷枪插入位置与试验罐后壁距离的增大,裸露面边缘至喷枪插入线距离减小,扒渣过程中容易引起扒渣板与喷枪间的碰撞,影响扒渣板的正常操作与行程。由图8可知,不同喷吹气体流量条件下,随着喷枪插入位置的增大,

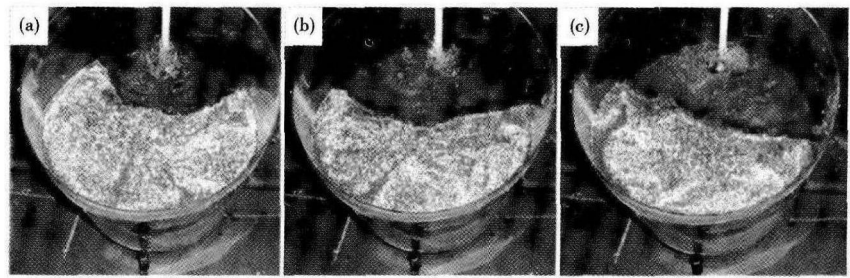


图5 喷枪插入深度90 mm(a),180 mm(b)和270 mm(c),喷枪插入位置0 mm,喷吹流量30 L/min时液面情况

Fig.5 Condition of surface of liquid with lance submerged depth 90 mm (a), 180 mm (b) and 270 mm (c); lance submerged location 0 mm and blowing rate 30 L/min

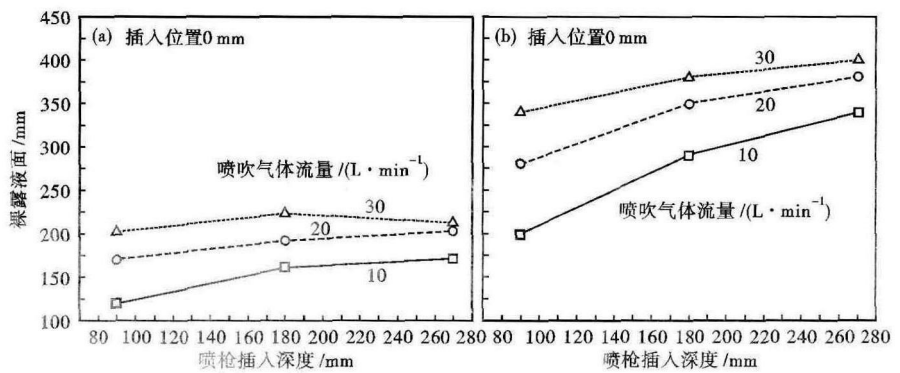


图6 喷枪插入深度对裸露液面长度(a)和宽度(b)的影响

Fig.6 Effect of lance submerged depth on length (a) and width (b) of bare surface of liquid

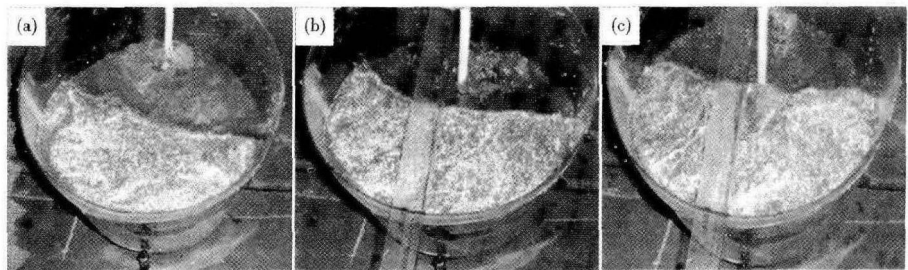


图7 喷枪插入位置-距罐壁0 mm(a),80 mm(b)和160 mm(c);喷枪插入深度270 mm,喷吹流量30 L/min时液面情况

Fig.7 Condition of surface of liquid with lance submerged location- distance from ladle wall 0 mm (a), 80 mm (b) and 160 mm (c); lance submerged depth 270 mm and blowing rate 30 L/min

即喷枪距试验罐后壁距离的增加,裸露液面长度和宽度总体呈下降趋势,并随着喷吹流量的增大,插入位置对裸露液面宽度的影响减小。由于喷枪插入位置越小(喷枪距离试验罐后壁越近),则罐壁对气泡上浮流股中的抑制转向作用增强,提升了气泡流股对液面泡沫颗粒的水平推力,有利于铁水罐后壁两侧区域铁水渣的向前驱赶和扒除,但会加剧气泡上浮气流对铁水罐后壁耐火材料的磨损;随着喷枪插入位置的增大,试验罐后壁对气泡上升流股的抑制

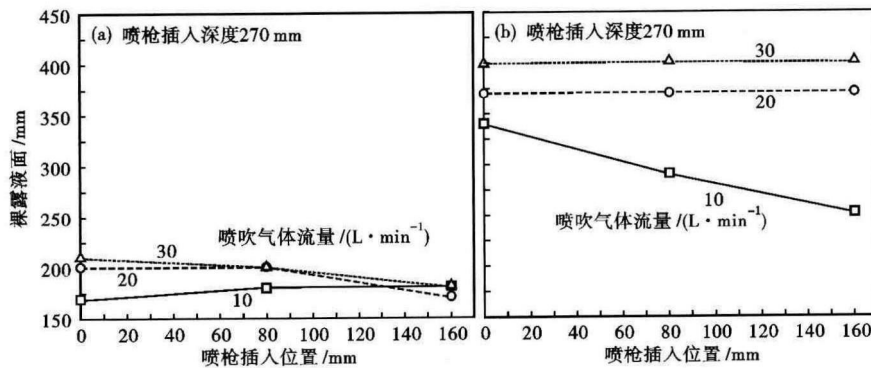


图 8 喷枪插入位置和喷吹气体流量对裸露液面长度(a)和宽度(b)的影响

Fig. 8 Effect of lance submerged location and blowing gas rate on length (a) and width (b) of bare surface of liquid

表 1 顶吹辅助扒渣工艺工业性试验数据统计

Table 1 Statistics of test data of commercial pilot production with auxiliary slag skimming process by top blowing

项目	统计样本数/罐	单罐平均扒渣次数/次	顶吹喷枪平均使用寿命/(次·支 ⁻¹)	平均扒渣铁损/(t·罐 ⁻¹)
应用前	500	75	-	0.70
工业性试验	61	63	32	0.68

注:扒渣铁损计算方法为每罐的扒渣量除以单罐铁水量。

转向作用减弱,特别是在喷枪插入点位置为 160 mm 时,即本试验条件下喷枪插入位置与试验罐后壁距离最大,气泡垂直上升流股与试验罐后壁未直接接触便溢出液面,泡沫颗粒仅能依靠气泡膨胀与溢出形成的水平推力以及罐壁阻碍作用而向前驱赶,虽然大喷吹流量条件下液面裸露面积与形状与其他插入点位置工况变化不大,但喷枪插入位置落入裸露面边缘,因扒渣板与喷枪碰撞风险而难以达到辅助扒渣的效果,同时也影响了扒渣的正常操作,无法在实际生产中实施。

参考文献

- [1] 马传凯,李镇,张志文,等. 鞍钢铁水脱硫吹渣发展综述[J]. 中国冶金,2005,15(11):11-14.
- [2] Harris R. 铁水罐扒渣[J]. 成永久译. 现代冶金,2001(4):22-25.
- [3] 杨世山,沈廷. 铁水预处理工艺、设备及操作[J]. 炼钢,2000,16(5):13-16.
- [4] Robert C Petrushka. 在脱硫和扒渣时减少铁水的损失[C]. 1989年国际炼钢会议论文选,1990:42-43.
- [5] 周斌,郑银环,张仲甫. 扒渣机构的动态稳定性分析及其优化[J]. 机床与液压,2004(7):106-107.
- [6] 刘小卿,陶勇钢,王清方,等. 铁水罐吹气辅助扒渣工艺开发与改进[J]. 炼钢,2007,23(4):14-17.
- [7] 杜秀峰,赵继宇. 铁水罐镁脱硫辅助除渣综合技术开发[J]. 武钢技术,2008,46(1):19-24.
- [8] 赵新宇,张炯明,孙兴洪,等. 铁水包扒渣过程的数值模拟[J]. 钢铁,2008,43(9):29-32.
- [9] 杜秀峰,于学斌,赵继宇,等. 铁水罐采用吹气辅助除渣工艺的研究[J]. 河南冶金,2006,14(9):32-36.
- [10] 余新河,于学斌,庄汉宁,等. 一种冶金炉外除渣处理技术用的顶枪辅助设备. 中国,CN2841671Y[P]. 2006-11-29.
- [11] 俞文燕,孟海平,薛一晟,等. 铁水预处理吹气赶渣装置. 中国,CN201762372U[P]. 2011-03-16.
- [12] 陈俊峰,魏钢,郑琳,等. 吹气扒渣设备、扒渣系统及其方法. 中国,CN102534063A[P]. 2012-07-04.
- [13] 李明晖,欧阳德刚,邓品团,等. 鱼雷罐倒 T 形喷吹脱渣水模试验研究[J]. 铸造技术,2012,33(5):585-587.
- [14] 王楠. 浸入式喷粉铁水脱渣过程的模拟研究[D]. 沈阳:东北大学,2000.

3 工业性试验

2012年6月至7月在炼钢厂完成了61罐次工业性试验。结果表明(表1),采用顶吹辅助扒渣工艺后,由于铁水罐后罐壁区域液面脱硫渣层向扒渣口方向驱赶,缩短了扒渣过程中扒渣板的行程,方便了脱硫渣的扒除,单罐扒渣次数由原来的平均75次降低至63次,明显缩短了扒渣时间;但工业性试验过程中,也明显观察到大量条件下吹气驱渣引起

的铁水喷溅和卷渣现象(与水模型试验结果相同),扒渣铁损仍达到0.68 t/罐,与未采用顶吹辅助扒渣工艺时的0.70 t/罐无太大变化,表明工艺仍有进一步优化空间。

4 结论

(1)顶吹辅助扒渣工艺中,随着喷吹气体流量的增大,驱渣效果不断改善;但当喷吹气体流量增加到一定程度时,存在液面喷溅和卷渣现象。

(2)增加顶吹喷枪插入深度,有利于铁水渣的扒除。

(3)随着顶吹喷枪插入点位置与铁水罐后壁距离的减小,驱渣效果持续改善,但会加剧气泡上浮气流对铁水罐后壁耐火材料的磨损。

(4)工业性试验结果表明,采用顶吹辅助扒渣工艺后,单罐扒渣次数由原来的平均75次降低至63次,明显缩短了扒渣时间;但由于大量条件下吹气驱渣引起的铁水喷溅和卷渣现象,扒渣铁损仍达到0.68 t/罐,表明工艺仍有进一步优化空间。

李明晖(1983-),男,博士生(武汉科技大学),工程师,2005年哈尔滨工程大学(本科)毕业,冶金热能和热工材料研究。

E-mail:goodminghui@163.com

收稿日期:2015-04-25