利用CO浓度曲线监控转炉造渣工艺实践*

孙承碧,刘 南,杨小龙

(内蒙古包钢钢联股份有限公司炼钢厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 转炉炼钢过程中,铁水中的碳在高温条件下和吹入的氧生成CO和少量CO_2混合气体,成为转炉烟气,烟气中CO浓度曲线的变化趋势为操作者提供了炉渣的动态状况,参照转炉炼钢终点烟气CO浓度及过程烟气CO浓度曲线,调整枪位和渣料加入时机,有效控制了返干和喷溅等异常情况的发生,可做到终点控制准确、冶炼平稳顺行。

关键词: 转炉炼钢; CO浓度曲线; 喷溅; 转炉炼钢终点

中图分类号: TF713 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)01-0038-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.01.011

Practice on Monitoring Scorification Technology of Converter with CO Concentration Curve

Sun Cheng-bi, Liu Nan, Yang Xiao-long

(*Steel-making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the process of converter steelmaking, the carbon in hot metal and oxygen blown in form the gas mixture of CO and a small amount of CO_2 under the condition of high temperature as well as it becomes the converter flue gas. The change trend of concentration curve for CO in flue gas provides the operator with dynamic state of slag. The slag could be effectively prevented to be thick and splashed by referring to the curve of concentration of CO in flue gas at end point of converter steelmaking and concentration of CO in flue gas in the process as well as adjusting the position of oxygen lance and opportunity of adding slag charge so that the end point control is accurate and smelting is stable and trouble-free.

Key words: converter steelmaking; CO concentration curve; splash; end point of converter steelmaking

钢水洁净度或夹杂物的研究与控制是一项综合技术,代表一个钢铁企业炼钢水平的综合能力,其炼钢流程的优化是开发与生产高附加值产品的基础。造渣是转炉炼钢的关键操作之一。优化造渣操作是优化转炉炼钢的前提条件。吹炼过程的造渣操作应遵循“初期早化渣、过程渣化好、渣化透”的原则[1]。只有形成良好的炉渣才能有效去除钢水中的硫、磷等有害元素,有效降低生产成本,提升钢水洁净度。

炼钢厂150 t转炉自投产以来一直未使用副枪等辅助设备,吹炼过程控制及终点成分判断依靠人工经验,有时也参照氧枪进回水温度及烟气CO浓度曲线等,但指导性不强,易造成炼钢终点成分波动,影响出钢质量。加之2020年以来,公司考核炼钢厂的一项重要指标为转炉终点出钢碳含量,这对冶炼操作提出了更高的要求。

* 收稿日期: 2020-12-01

作者简介: 孙承碧(1980-),男,辽宁省营口市人,高级技师,现从事炼钢工艺生产工作。

1　人工判断操作法存在问题

炼钢厂目前配有 2 座 150 t 转炉，其中 1 座转炉主要产品对转炉终点钢水碳含量有严格要求，一般采用“留渣 + 单(双) 渣 + 高拉补吹”的方法冶炼; 另一座转炉为线材生产线提供钢水，一般采用“留渣 + 单(双) 渣 + 增碳法”的方法冶炼。目前铁水硅含量波动大，磷含量偏高，对转炉操作的影响较大，不利于稳定操作及提高产品质量。

人为经验判断终点成分，受终点枪位、流量及化渣情况影响，终点成分偏差大。吹炼过程返干、喷溅等现象不好控制，易产生喷溅冒烟事故，冶炼热平衡被破坏，导致终点温度不稳定。根据炉口飞溅炉渣的颜色及加铁皮球时炉口反应判断炉内温度，指导性不强，易造成过程温度控制不好导致炼钢终点成分波动[2]。

表 1　2019 年全年转炉指标　　%

时间	喷溅比率	一次拉碳成功率	出钢碳含量达标率
一季度	3.90	27.17	37.28
二季度	4.20	26.48	38.34
三季度	4.10	27.14	38.48
四季度	4.20	25.48	37.15
平均值	4.10	26.57	37.81

从表 1 统计数据可以看出。在 2019 年全年生产中，人工经验判断转炉终点一次拉碳成功率平均为 26.57%，出钢碳含量达标率为 37.81%，处于较低水平，而喷溅比率达 4.10%。在环保、成本及质量要求日趋严苛的形势下，人工经验判断转炉终点已无法满足生产需要。

2　利用 CO 浓度曲线监控转炉造渣

2.1　工艺理论

炼钢过程中，铁水中的碳与氧枪供氧气发生碳氧反应生成 CO、CO_2 气体，在转炉除尘系统工作中与其他烟气粉尘形成转炉烟气进入除尘系统。而除尘系统中烟气检测仪可分析转炉烟气中 CO 浓度以防止发生泄爆等事故。因此烟气分析 CO 浓度曲线的变化趋势就为操作者提供了转炉内熔池碳氧反应激烈程度的动态状况。

当脱碳反应逐步加速并成为主要反应，若烟气中 CO 浓度持续增加，则表明炉渣向返干方向发展，原因是渣中 FeO 含量降低时，泡沫渣渣面降低，CO 消耗量减少。

当烟气中 CO 浓度从平稳趋势含量逐渐降低时则预示要喷溅。其原因是供入的氧气生成大量的氧化铁并开始积聚。随着渣中 FeO 含量的增加，炉渣泡沫性增强，碳与渣中氧化铁反应生成的 CO 反应生成 CO_2 的速度加快，瞬间排出大量具有巨大能量的 CO 和 CO_2 气体，足以将炉渣冲出炉口，同时还夹带大量的钢水和炉渣造成较大喷溅[3]。

因此，根据理论吹炼时间烟气 CO 浓度趋势，如图 1 所示，参照实时反馈的烟气 CO 浓度及过程烟气 CO 浓度曲线，如图 2 所示，操作者可以判断炉内反应情况从而调整枪位和渣料加入时机，提前采取相应的措施有效控制了返干和喷溅等异常情况的发生，达到终点控制准确，冶炼平稳顺行。

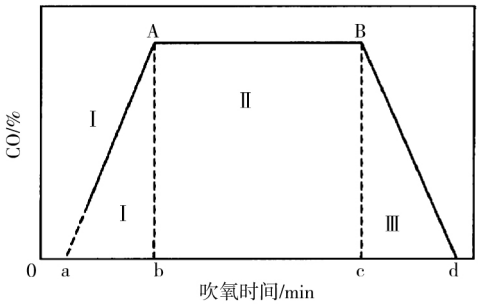


图 1　理论吹炼时间 CO 含量趋势示意图

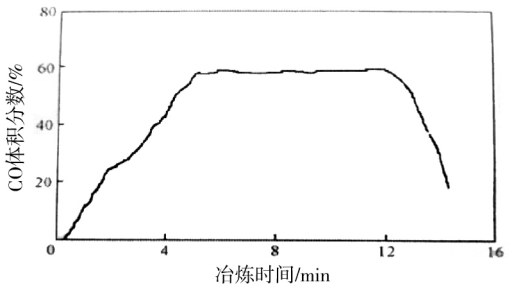


图 2　实际吹炼时间 CO 含量趋势

2.2　工艺实施

利用炼钢厂现有除尘设备，在理论基础上，炼钢厂工艺技术人员进行了大量数据统计。结合现场生产实际情况，总结出实施效果。

(1) 根据吹炼过程烟气 CO 浓度变化趋势，准确判断过程是否要发生返干、喷溅现象，及时控制。图 3为返干曲线，吹炼过程中烟气 CO 浓度急剧上升，出现了返干现象; 图 4 为喷溅曲线，前期冶炼过

程出现了返干，对炉渣进行调整后烟气 CO 浓度下降，意味着要产生喷溅。实际本炉钢在烟气 CO 浓度下降时未采取有效措施，发生了喷溅，造成了吹炼中断。

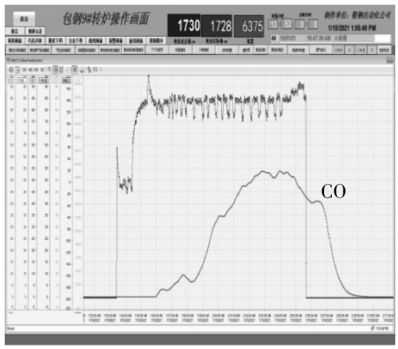


图3 出现返干现象

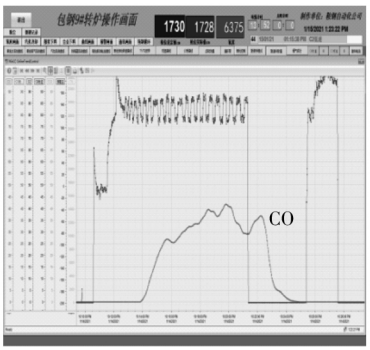


图4 发生喷溅

(2) 根据吹炼过程 CO 浓度曲线的斜率，准确判断过程温度，稳定控制终点成分。图5为双渣操作曲线，图中烟气 CO 浓度急剧上升，说明提温较快，需及时加入渣料及含铁料。图6为单渣操作曲线，图中烟气 CO 浓度缓慢上升，说明提温较慢，温度控制较为合理。

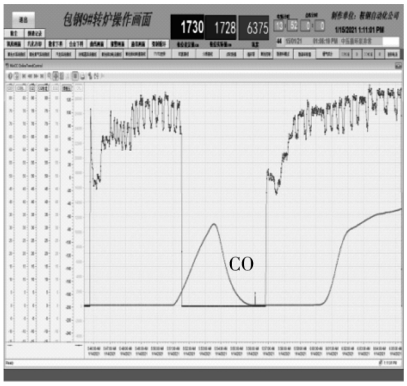


图5 双渣操作温度判断

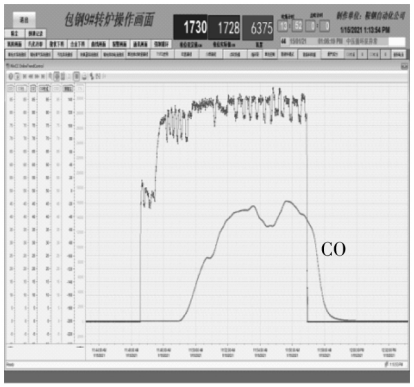


图6 单渣操作温度判断

(3) 根据终点烟气 CO 浓度，快速判断终点钢水碳含量。在经过长时间生产数据积累后，现场技术人员总结了终点烟气 CO 浓度与转炉终点钢水碳含量关系，如表2所示。

表2 终点烟气 CO 浓度与终点钢水碳含量关系 %

终点烟气 CO 浓度	终点碳含量
<35	<0.06
36.7~39.4	0.073~0.091
39.4~41.6	0.091~0.105
41.6~43.7	0.105~0.137

3 工艺实施效果

方法实施后，对现场生产操作起到了很好的指导作用。2020 年一次拉碳成功率为 44.72%，较 2019 年提高了 18.15 个百分点；喷溅比率为 2.86%，较 2019 年降低了 1.24 个百分点；出钢碳含量达标率 80.32%，较 2019 年提高了 43.51 个百分点，为提升炼钢厂产品质量作出了积极地贡献。

4 结束语

采用烟气 CO 浓度曲线监控转炉造渣工艺，在不增加设备基础上，使用烟气分析 CO 浓度曲线实时反馈结果，对转炉冶炼过程中返干、喷溅事故起到了提前预判的指导性作用。同时，对转炉终点人工判断不准确的情况有了很大改善。在成本控制以及提升钢水质量方面做出了积极贡献。

(下转第44页)

产生的大量钙蒸气而使得钢液剧烈翻腾，大量钙蒸气直接挥发到空气中；另一方面钙蒸气来不及溶解而大量上浮，从而降低其收得率。反之，如果速度过慢，会导致喂入深度不足，在其能完全溶解于钢液前便上浮到钢液面而浪费掉。

实芯高钙线的钙含量比铁钙线高，如果采用相同的喂线速度，钢液翻腾将更加剧烈，不利于钙吸收。不同的钢种、不同的钢包容量，最佳喂线速度有所不同，需要根据现场实际情况进行选择。实践表明2.6～3.0 m/s的喂线速度效果最佳[3]。

4.2 正确选择喂线位置

喂线位置对于钙的收得率也有很大影响，实芯高钙线喂入点应选择在钢液下降流的中心位置，尽量远离吹氩亮圈，这样无论钙是以气态还是以液态进入钢液，都会在下降流的作用下强制其下降，从而延长其在钢液中的停留时间，使其被钢水充分吸收。

4.3 软吹及镇静时限要求

经过高钙线处理后的钢水，必须有一定的钢水静置时间并辅以软吹氩弱搅拌，以确保改质及变性后的夹杂物集聚、长大、上浮。结合LF精炼炉的工艺优化特点，根据斯托克定理结合钢水的净深进行理论计算并验证其合理性，一般弱搅拌时间控制8～15 min，镇静时间保持在8 min。这样提高了钢水的纯净度及可浇性。

5 结论

(1) 采用实芯高钙线代替铁钙线进行钙处理，调整钙处理操作，如喂入深度、喂线速度、喂线角度等，合适的氩气流量、合适的喂线速度，可提高钙的释放深度与钢水直接反应，提高钙的收得率，有效的避免中包水口堵塞，降低了吨钢钙处理成本，缩短了钙处理时间，有效减少烟尘排放。

(2) 经过实践证明，选用实心高钙线进行钙处理能够满足生产实际需要，在提高钢水洁净度、提高铸坯质量、保证生产顺行、提高产能方面起到了较大的作用，并给企业带来了可观的经济效益。

参 考 文 献

[1] 贺道中，苏振江，周志勇. 铝脱氧钢水钙处理热力学分析与应用[J]. 湖南工业大学学报，2010，24(3)：5－9.

[2] 徐太安，宋明峰. 喂线技术在LF精炼炉的应用[J]. 一重技术，2007，(5)：34－35.

[3] 张青山，王春旭，关军学，等. 钢包喂线技术的应用[J]. 黑龙江科技信息，2003，(9)：98.

(上接第40页)

参 考 文 献

[1] 周朝刚. 转炉双渣脱磷一次倒渣温度研究[J]. 钢铁，2014，(3)：24－28.

[2] 冯士超. 转炉炼钢终点控制技术应用现状[J]. 冶金自动化，2016，(2)：1－6.

[3] 叶玉奎. 复吹转炉双渣脱磷工艺实践[J]. 中国冶金，2018，(1)：40－44.