

100 t 顶吹氧气转炉石灰石造渣炼钢技术的分析和工艺实践

秦登平 杨建平 危尚好 张建师 孙剑光 刘金旭
(首秦金属材料有限公司, 秦皇岛 066326)

摘 要 通过石灰石造渣前期成渣机理的分析和转炉热平衡计算得出石灰石消耗为 6.0 t/炉时,需增加铁水消耗 2.1 t/炉,减少 2.5 t/炉废钢消耗,可保证石灰石炼钢终点温度和石灰炼钢终点温度一致。生产试验得出,石灰石造渣炼钢转炉终点碱度(3.3),终点温度(1 662 ℃)、终点[C](0.081%)、[P](0.016%)、命中率(90%)和普通石灰造渣炼钢工艺一致,但降低转炉炉料成本 10.4 元/t_钢,取得良好的经济和社会效益。

关键词 100 t 顶吹氧气转炉 石灰石 造渣 终点控制 成本

Analysis and Process Practice on Steelmaking Technology of 100 t Top-Blown Oxygen Converter by Limestone for Slag Making

Qin Dengping, Yang Jianping, Wei Shanghao, Zhang Jianshi, Sun Jianguang and Liu Jinxu
(Shouqin Metal Materials Co Ltd, Qinhuangdao 066326)

Abstract With analysis on the mechanism of early stages slag making by limestone and calculation of heat balance in converter, it is obtained that as controlling limestone consumption 6.0 t/heat, the hot metal consumption must increase by 2.1 t/heat and the scrap consumption shall decrease by 2.5 t/heat, it may insure that the end temperature by limestone steelmaking process is the same by lime steelmaking process. Pilot production results show that with limestone slag making technology the converter steelmaking end basicity (3.3), end temperature (1 662 ℃), end [C] (0.081%), end [P] (0.016%) and end percentage of hits (90%) showing no difference from that with conventional lime slag making technology. But with limestone slag making technology the cost of converter stock decreases by 10.4 yuan /t steel to get better economic and social benefit.

Material Index 100 t Top-Blown Oxygen Converter, Limestone, Slag Making, End Control, Cost

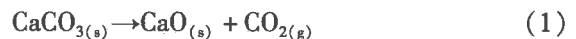
近年来,国内冶金学者提出了“一种在氧气转炉中用石灰石代替石灰造渣炼钢”的新方法^[1],2011年首秦金属材料有限公司(以下简称首秦公司)提出了“经济炼钢”、“精俭炼钢”,高炉生产出的铁水成本远低于废钢成本,使转炉炼钢过程的废钢比降低,造成转炉热量富裕,同时炼钢的造渣剂由原来的活性石灰(CaO)的“精料”方针(简称普通石灰工艺),逐步演变成全部使用价格更为低廉的石灰石(CaCO₃)造渣炼钢“经济”方针,截止到2014年1月,实现了全部使用石灰石炼钢工艺(简称石灰石造渣工艺),采用该工艺造渣炼钢比例达到10%,石灰石消耗为58 kg/t_钢,降低了转炉炼钢的炉料成本10.4元/t_钢,同时减少了CO₂的排放,具有重要的社会效益。

首秦公司炼钢厂拥有2座在线颗粒镁脱硫、1座离线颗粒镁脱硫,能够实现70%脱硫能力,3座100 t顶底复吹转炉,配有转炉下渣检测和副枪工艺,能够实现“一键式”炼钢和出钢,3座100 t双工位LF精炼,1座100 t双工位RH精炼炉和3台板坯连铸机。主要工艺路线:100 t转炉冶炼→LF精

炼→铸机浇铸和铁水脱硫预处理→转炉冶炼→LF精炼→RH真空精炼→铸机浇铸。产品已覆盖造船及平台用钢、管线钢、桥梁钢、容器板、工程机械用钢、储油罐用钢、水电钢、耐磨钢等十二大专用领域。

1 石灰石造渣前期成渣机理分析

石灰石造渣在转炉内需要经历一个由预热、加热到分解,进而生成石灰的过程,进一步参与脱磷、脱硫反应,主要化学过程是一个吸热反应过程,具体反应为^[2]:



$$\Delta G^0 = 169\,120 - 144.6 T \quad \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (2)$$



根据式(2)测算,当 ΔG^0 小于0时,反应向右侧进行,即当炉内温度大于896 ℃时,石灰石分解为CaO和CO₂气体,首秦公司铁水温度一般在1 250 ~ 1 400 ℃,开吹后转炉内熔池温度一般在1 200 ℃以上,石灰石在加入转炉后瞬间承受高温,经历预热、加热和分解,文献[3]提出,当炉内温度达到1 400 ℃,石灰石分解速率比1 100 ℃时大很多,5 min煅烧

分解率达到了73.6%,而1 100 ℃时的5 min 煅烧分解速率为16.1%,即石灰石内外温差也大,传热速率增大,转炉前期温度越高,石灰石分解速率越快,根据首秦公司开吹炉内温度条件,初步预测,石灰石分解、化好渣时间控制在4 min 左右。

另外石灰石分解放出的 CO_2 ,由反应方程式(3)得出, CO_2 与铁水中的碳反应,生成CO气体,提高了煤气中CO气体的浓度,根据参考文献[4]可得出:由反应式(1),在转炉炼钢吹炼初期,在炉内高碳低温铁水条件下, CO_2 分压值非常小,初期[C]约为4.2%时,石灰石分解产生的 CO_2 会全部参与铁水反应,在 CO_2 浓度高CO浓度低时, CO_2 优先氧化[C];在 CO_2 浓度低CO浓度高, CO_2 优先氧化[Si], CO_2 可与铁水中[C]、[Si]、[Mn]、[Fe]的氧化反应互相促进,有利于石灰石的分解和转炉铁水中杂质元素的氧化去除。

文献[5]指出,在标准状态下,在接近火点区的温度范围初步预测铁水中硅的挥发量为20%~30%,即使用同比例有效氧化钙替代时,炉渣碱度提高了20%~30%。按照首秦公司实际情况来看,当终点碱度一致时,有效氧化钙减少24.7%。

石灰石分解生成的CaO与炉内的 SiO_2 ,化渣前期石灰表面生成高熔点的 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 壳,通过增加OG泥、矿石消耗和调整氧枪枪位,来增加渣中FeO/ SiO_2 的比值或使用化渣剂化渣,降低 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 熔点,阻止 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 壳的形成,有利于石灰的溶解,促进化好过程渣,达到良好的脱磷效果。

2 石灰石造渣炼钢热平衡计算

石灰石造渣的热平衡主要是考虑到转炉吹炼过程温度和终点温度,使用石灰石造渣炼钢有利于控制过程温度,提高脱磷效果,转炉中热量的主要来源有:铁水自带的物理热;吹炼过程中元素的氧化反应和成渣反应的化学热;烟尘氧化放热和炉衬中的碳氧化放热(这些热量较少)。热量支出包括:钢水和炉渣的物理热、物料分解吸热、烟尘物理热、炉气物理热、渣中铁珠物理热、喷溅金属物理热、废钢耗热、吹炼过程热损失等。

转炉炼钢用的冷料包括废钢、OG泥、铁块、石灰石等造渣原料,其中废钢是目前转炉用量最大的冷料,由于原材料条件和操作水平等限制,转炉的冷料比目前处于较低水平,一般不超过15%。

由表1可知,不同冷却剂的冷却降温经验数据,采用石灰石造渣炼钢,石灰石消耗控制在6.0 t/炉

表1 冷却剂对熔池钢水降温影响经验数据

Table 1 Empirical data of effect of cold agents on bath liquid temperature loss

加入1%冷却剂	熔池降温/℃
废钢	8~12
石灰	15~20
铁矿石	30~40
石灰石	28~38
OG泥	35~40
生白云石	20~25

时,需要增加铁水消耗2.1 t,减少2.5 t 废钢消耗,即可保证石灰石炼钢的终点温度与石灰炼钢转炉终点温度一致。

3 石灰石造渣炼钢试验和应用情况

3.1 试验方案

(1)装入制度:铁水102~104 t,废钢4~6 t。

(2)造渣制度:双渣前期脱磷,枪位按照1.5-1.4-1.3 m控制,提枪前保证枪位1.3 m吹炼1 min。氧枪流量按照18 000 m^3/h 控制,化渣使用矿石、OG泥,保证过程化渣情况,热量不足时,可用萤石替代化渣。

(3)转炉脱碳期、转炉终点控制,按照原工艺执行。

3.2 应用情况

3.2.1 应用效果

石灰石造渣炼钢主要在普通品种上进行,主要是成品磷的质量分数在0.020%以上的钢种。与相同钢种的普通石灰造渣工艺比较,两种工艺实际冶炼的条件对比(普通石灰造渣工艺100炉,石灰石100炉),铁水条件、装入情况及辅料加入如表2和表3所示。

从铁水条件来看,两种工艺铁水条件基本相同。装入总量也相差不大,但石灰石工艺铁水比提高

表2 铁水参数和装入量

Table 2 Parameters of hot metal and charging amount

类型	Si/ %	P/ %	T/ ℃	铁水/ t	废钢/ t	装入量/ t
普通石灰	0.41	0.087	1 291	99.1	7.7	106.8
石灰石	0.40	0.085	1 295	101	5.5	106.5
差值	-0.01	-0.002	4	1.9	-2.2	-0.3

表3 辅料添加量/kg

Table 3 Amount of additions /kg

类型	矿石	OG泥	石灰石	白灰	轻烧	总量
普通石灰	292	3 054	0	3 770	496	7 612
石灰石	53	2 702	5 796	0	459	9 010
差值	-239	-352	5 796	-3 770	-37	1 398

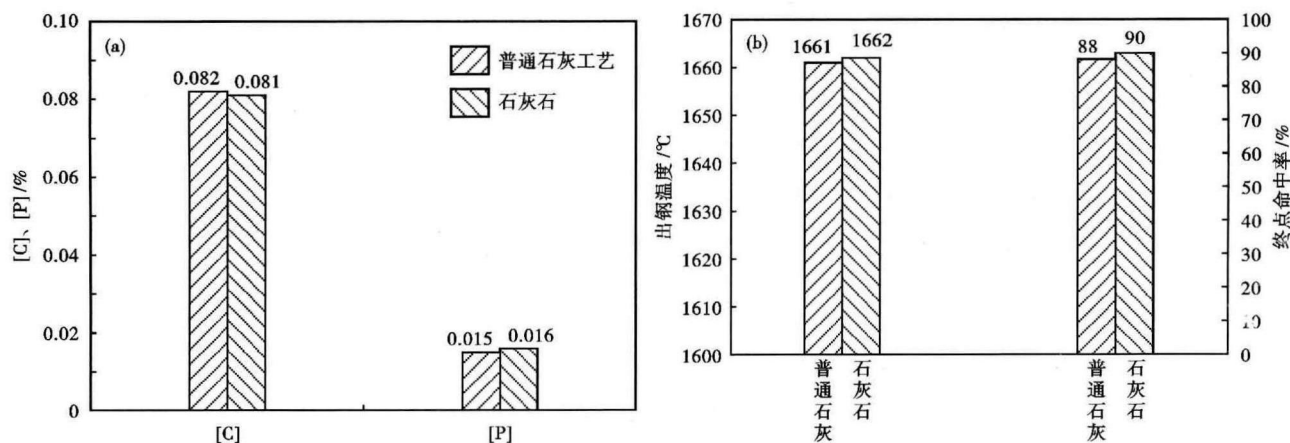


图 1 石灰石造渣工艺和普通石灰造渣工艺终点[C]、[P](a)和终点温度、命中率(b)的对比

Fig. 1 Comparison of eng [C] and end [P] (a) and end temperature of liquid and end percentage of hits (b) between limestone slag making technology and conventional lime slag making technology

2.5%,即铁水装入增加1.9 t,废钢相应减少2.2 t,基本与理论热平衡计算一致,从辅料加入来看,石灰石工艺依然保证了红泥矿石量达到每炉2.5 t以上,取消白灰加入,石灰石用量达到5.8 t,轻烧加入量与普通石灰造渣工艺相同;在此种加料情况下,两种工艺终点情况对比如下:石灰石冶炼与普通石灰造渣工艺冶炼炉渣碱度均为3.3,终点命中率石灰石为90%,比普通石灰造渣工艺提高2%,两者的终点碳质量分数、磷的质量分数、温度等均相差不大,具体如图1所示。

钢种成品磷含量要求在0.020%~0.040%,因此转炉终点磷要较之严格,石灰石冶炼终点磷含量基本控制在0.012%~0.018%,少数炉次转炉终点磷含量控制在0.006%~0.012%与0.018%~0.036%,满足了普通钢种的要求。

3.2.2 成本分析

石灰石炼钢炉次,石灰消耗为0,石灰石消耗量为47.97 kg/t_钢,成渣的CaO投入量为28.4 kg/t_钢;普通炉次石灰消耗量37.7 kg/t_钢,石灰石加入量为0,折合吨钢成渣CaO投入量平均为37.7 kg/t_钢。石灰石价格按45元/t计算、石灰价格按345元/t计算,石灰石造渣降低炉料结构成本为10.4元/t_钢。

石灰石造渣炼钢降低转炉渣量,降低了钢铁料消耗,减少了渣量处理费用及对环境造成的影响,同时减少了中间烧制石灰的环节和CO₂的排放,具有较大的节能减排作用和良好的社会效益。

4 结论

(1)首秦公司开吹后转炉内熔池温度一般在1200℃以上,石灰石在加入转炉后瞬间承受高温,

经历预热、加热和分解,初步预测,石灰石分解和化好渣时间控制在4 min。

(2)石灰石分解出的CO₂可与铁水中[C]、[Si]、[Mn]、[Fe]的氧化反应互相促进,有利于石灰石的分解和转炉铁水中杂质元素的氧化去除。

(3)通过热平衡计算,采用石灰石造渣炼钢,石灰石消耗控制在6.0 t/炉时,需要增加铁水消耗2.1 t,减少2.5 t废钢消耗,即可保证转炉终点温度的稳定。

(4)石灰石冶炼与普通石灰造渣工艺冶炼炉渣碱度均为3.3,终点C、P的质量分数、温度等均相差不大。

(5)石灰石造渣降低炉料成本为10.4元/t_钢,并减少了CO₂的排放,具有明显的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1] 李宏,曲英.一种在氧气顶吹转炉中用石灰石代替石灰造渣炼钢的方法.中国专利:ZL200910082071.X[P]2011-01-19.
- [2] 魏宝森.石灰石在转炉炼钢中的应用实践[J].冶金能源,2012,31(4):10-12.
- [3] 王鹏飞,张怀军.石灰石替代石灰炼钢造渣效果研究[J].包钢科技,2012,38(4):30-32.
- [4] 李宏,冯佳,李永卿,等.转炉炼钢前期石灰石分解及CO₂氧化作用的热力学分析[J].北京科技大学学报,2011,33(1):83-87.
- [5] 年武,冯佳,李晨晓,等.氧气转炉采用石灰石造渣炼钢铁水中硅挥发的分析[C].南京:特钢年会论文集,2013:444-451.

秦登平(1978-),男,硕士(北京科技大学),高级工程师,西安建筑科技大学(本科)毕业,转炉炼钢工艺研究。

E-mail:qindp171@126.com

收稿日期:2014-04-28