

关于 120t 转炉少渣冶炼的应用实践研究

杨希杰, 李俊, 王忠刚, 高志滨

莱芜钢铁集团银山型钢炼钢厂, 济南 271104

Practical Study on Application of Less Slag Smelting in 120t Converter

Yang Xijie, Li Jun, Wang Zhonggang, Gao Zhibin

Laigang group yinshan section steel plant, Jinan, 271104, China

1. 前言

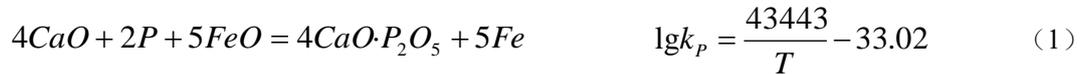
随着各钢厂品种结构不断优化, 生产品种钢越来越多, 为了实现良好的终点命中, 同时保持良好的炉体状况, 转炉渣料消耗(石灰+白云石)持续较高控制在 50kg/t 以上, 不利于企业降本和绿色低碳发展。研究转炉少渣冶炼, 采取相关工艺措施, 稳定转炉留渣量及转炉过程操作, 实现终点的良好命中, 从而降低转炉石灰消耗, 节约生产成本。莱芜炼钢厂 2022 年 1 月开始实行少渣冶炼, 经过一年的尝试摸索, 转炉渣料消耗由 56.26kg/t 降低至 42.12kg/t, 取得了显著的经济效益。

2. 留渣操作

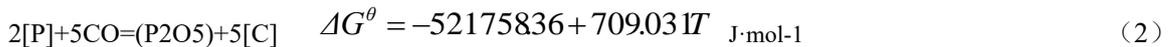
2.1. 原理

2.1.1. 脱磷原理

根据炉渣分子理论, 脱磷反应是在钢-渣界面完成的, 脱磷反应及其平衡常数表达式如式(1)所示。



一般认为转炉冶炼前期碳、磷选择性氧化的热力学方程如下式:



渣中(CaO)、(FeO)越高, 4CaO·P₂O₅ 越高, 则渣中(P)高, 钢中[P]低。同时, 有关研究也表明, 终点碱度越高, 则渣中自由(CaO)越多, 钢中[P]越低。当渣中(CaO)含量达 40%左右时, L_p 值最大, 效果较好; 渣中(CaO)过多时, 炉渣变粘, 脱磷效果反而变差。终点渣碱度为 3 左右时, 脱磷效果最好, 脱碳炉终渣中含有大量的(CaO), 有利于脱磷。

2.1.2. 留渣原理

转炉冶炼遵循“早化渣, 化透渣, 提高初渣(FeO), 造低熔点 2FeO·CaO·SiO₂ 渣多去磷”的原则, 控制炉渣合适的氧化性。转炉上一炉溅渣护炉完毕后, 将一部分炉渣留渣炉内, 即来自前一炉尾渣的(FeO)和 CaO, (FeO)升高会促进氧化钙在渣中的溶解, 但过高的(FeO)会告成铁损失率高和喷溅。

表 1 转炉渣样数据

Table 1 Converter slag sample data

| TFe | SiO ₂ | CaO | MgO | Al ₂ O ₃ | 碱度 R |
|-------|------------------|------|------|--------------------------------|------|
| 18.62 | 17.65 | 44.3 | 6.29 | 1.53 | 2.51 |

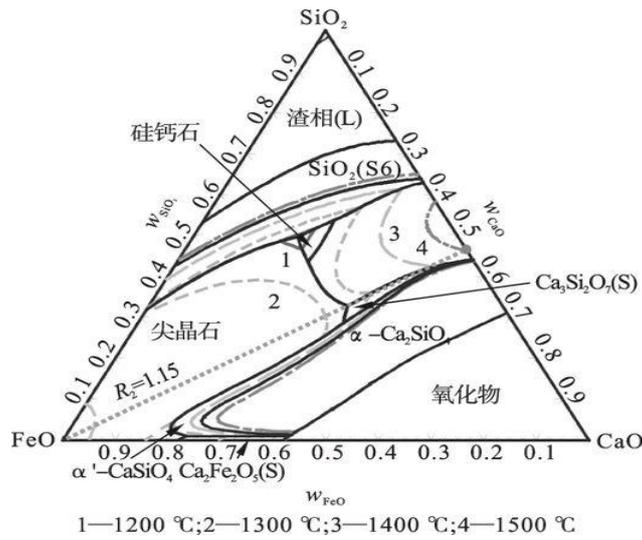


图 1 CaO-SiO₂-FeO 三元体系相图

Fig.1 Phase diagram of CaO-SiO₂-FeO ternary system

2.2. 转炉留渣精准控制

2.2.1. 目测留渣量校准

各个班组中炉长留渣量不统一，留渣量目测不准确，导致留渣量不稳定，导致一助手操作波动大，喷溅多。通过留渣后炉长目测炉内炉渣重量后，再将目测炉渣全部倒入空渣盆进行称重，得出实际炉渣重量及目测炉渣重量偏差值，实际目测重量平均比实际重量轻 1.96t，修正目测留渣重量，以便于精准留渣控制。

表 2 目测炉渣重量及实际炉渣重量偏差值

| | 试验 1 | 试验 2 | 试验 3 | 试验 4 | 试验 5 |
|------|------|------|-------|------|------|
| 目测重量 | 4t | 5t | 12t | 7t | 6t |
| 实际重量 | 5.9t | 7.3t | 14.5t | 8.3t | 7.8t |

2.2.2. 留渣标准

2.2.2.1. 低铁耗（热量不足情况下）

(1)留渣量以不大于 5t 为标准，先倒渣后溅渣炉次，具体根据倒渣角度、溅渣时间确定渣量。

表 3 低铁耗下先倒渣后溅渣的留渣摇炉角度及渣量

| | | | |
|------------|-------|-------|------|
| 摇炉角度 (°) | 105 | 107 | >110 |
| 渣量 (t) | 8 | 6 | ≤3 |
| 溅渣时间 (min) | 2.5-3 | 2-2.5 | <2 |
| 渣量 (t) | 5 | 4 | ≤3 |

(2)先溅渣后倒渣炉次以摇炉角度判断，具体溅渣后摇炉角度。

表 4 低铁耗下先溅渣后倒渣的留渣摇炉角度及渣量

| | | | |
|----------|---------|---------|------|
| 摇炉角度 (°) | 160-165 | 165-170 | >170 |
| 渣量 (t) | 5 | 4 | ≤3 |

(3)终点过氧化、炉渣稀（泡）或点吹炉次，须按照先倒渣后溅渣模式留渣；终点炉渣粘稠、渣量较少炉次，可参考先溅渣后倒渣模式。留渣炉次炉渣必须溅干。

(4) 溅干的标准是摇炉时渣子颗粒状滚动，不得出现液态流动现象。留渣炉长必须对留渣量进行判断并及时与一助手沟通。

2.2.2.2. 正常冶炼（热量充足）

留渣量 1-4#炉以 3-7t 为标准，先倒渣后溅渣炉次，具体根据倒渣摇炉角度、溅渣时间确定渣量。

表 5 正常冶炼先倒渣后溅渣的留渣摇炉角度及渣量

| 摇炉角度 (°) | 105 | 107 | >110 |
|------------|-------|-------|-------|
| 渣量 (t) | 8 | 6 | ≤3 |
| 溅渣时间 (min) | 3-3.5 | 2.5-3 | 2-2.5 |
| 渣量 (t) | 7 | 5 | 3 |

2.2.2.3. 全铁冶炼（热量充足）

留渣量 1-4#炉以 5-7t 为标准，先倒渣后溅渣炉次，具体根据、倒渣角度、溅渣时间确定渣量。

表 6 全铁冶炼留渣摇炉角度及渣量

| 摇炉角度 (°) | 105 | 107 |
|------------|-------|-------|
| 渣量 (t) | 8 | 6 |
| 溅渣时间 (min) | 3-3.5 | 2.5-3 |
| 渣量 (t) | 7 | 5 |

3. 自动炼钢

转炉各个班组手动操作炼钢模式下操作随意性强，且各个炉座、班组操作模式不统一不固定，操作不规范，导致过程喷溅严重，石灰、白云石消耗多。通过制定自动炼钢加料模型、枪位模型，固化操作模式，减少人为干预，降低转炉吹炼过程喷溅，降低石灰、白云石消耗。

3.1. 加料控制

加料采用多批次小批量加入模式，头批石灰加入 40%，白云石加入 60%，头批冷料延后至 3 分半开始加入，前期提温利于化渣，炉渣化开后分批次加入石灰，中后期炉渣返干时加入部分冷料调渣，炉渣化渣良好终点前不再加料调渣。

3.2. 枪位控制

前期 2 分钟枪位考虑解决前期温度低的问题，采用低高低低枪位模型，3 分钟高枪位化渣，中期压枪防止氧化铁聚集喷溅，终点压枪保证终点温度成分稳定。

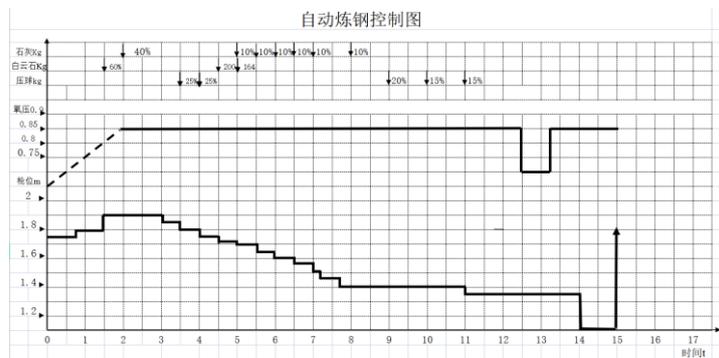


图 2 自动炼钢控制图

Fig. 2 Automatic steelmaking control diagram

4. 三试验效果

4.1. 转炉一次拉碳率

通过稳定转炉留渣操作和转炉自动炼钢模型的使用，转炉的一次拉碳率由最低 76.21%提升至现阶段 90%左右，极大的降低了转炉终点的氧化性，降低总渣量。

4.2. 转炉渣料消耗

通过稳定转炉留渣操作和转炉自动炼钢模型的使用及优化，转炉一次拉碳率不断提升，转炉操作更加稳定，渣料消耗由石灰（42.23kg/t）加白云石（14.03kg/t）合计 56.26kg/t 降低至石灰（29.91kg/t）加白云石（12.22kg/t）合计 42.13kg/t。

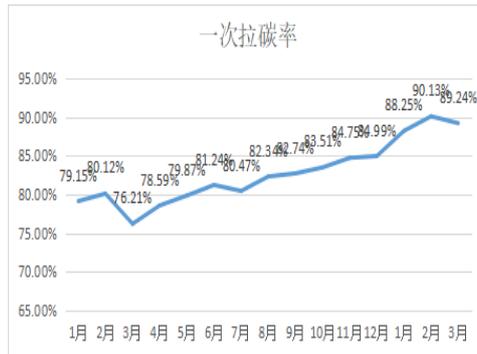


图3 转炉一次拉碳率

Fig.3 Primary carbon drawing rate of converter

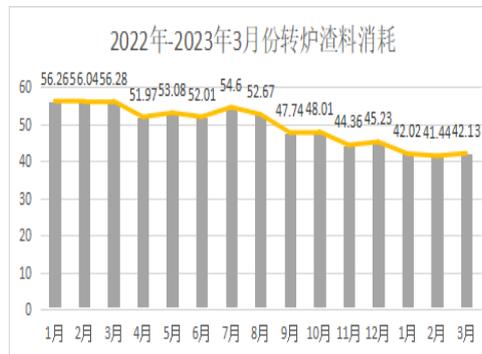


图4 转炉渣料消耗

Fig.4 Slag consumption of converter

5. 结论

(1)通过现场摸索 120t 转炉不同铁耗模式下留渣量稳定在 3-7t 范围内最有利于转炉操作控制。

(2)少渣冶炼后转炉的一次拉碳率由 76.21%提升至现阶段 90%左右，极大的减少了终点过氧化炉次，有利于钢水质量提升及降低钢铁料消耗成本。

(3)实施少渣冶炼后，转炉喷溅渣、总渣量、钢铁料消耗等经济指标都向好，通过跟踪发现少渣冶炼后对后续铸坯及钢材质量无影响。

(4)采用少渣冶炼工艺期间，收集转炉数据 9700 炉，转炉石灰消耗由 42.23kg/t 降低至 29.91kg/t 钢，白云石由 14.03kg/t 降低至 12.22kg/t，显著降低了炼钢辅料成本。

参考文献

- [1] 黄希枯.钢铁冶金原理[M].北京: 冶金工业出版社,2007.
- [2] 卿家胜.200t 转炉少渣冶炼工艺实践[J].炼钢,2015,(4): 1-5.
- [3] 陈志平, 王多刚, 虞大俊, 等, 转炉炼钢少渣冶炼技术的探索实践 [J].宝钢技术, 2016,(6):17-20.
- [4] 王杰,曾家庆等, 复吹转炉少渣脱磷炼钢工艺过程分析山.炼钢,2015,31(3): 31-35.