

绿色经济型渣料在转炉炼钢中的应用

尚游, 李俊, 王忠刚, 高志滨

莱芜钢铁集团银山型钢炼钢厂, 济南 271104

Application of Green and Economical Slag in Converter Steelmaking

Shang You, Li Jun, Wang Zhonggang, Gao Zhibin

Laigang Group Yinshan Profile Steel Mill, jinan, 271104, China

1. 前言

近年来, 随着钢铁行业高速发展, 市场对钢铁质量的要求越来越高, 高品质、高性能钢种的需求不断在增大, 控制钢中有害元素及夹杂物的含量, 增加钢的洁净度成为提高钢材质量的主要手段。为提高钢水洁净度, 往往采用精料操作, 造成生产成本居高不下。随着环保管控的不断升级, 钢铁企业仍然面临着巨大的生存压力, 要提升企业的盈利空间, 需实施低成本战略, 研究使用低成本原辅料生产高质量的产品, 是目前急需解决的问题。各大钢厂均加大了对节能减排的研究与投入, 环保与成本成为制约钢铁企业发展的瓶颈。

转炉的渣料一般需高温生产, 渣料制备过程需消耗大量的燃料, 并产生一定的碳排放, 针对这一状况, 莱钢银山型钢炼钢厂在现有工艺基础上, 采用低成本造渣料, 对现有渣料进行回收利用, 取得明显的经济和社会效益。

2. 实验情况

2.1. 利用脱硫除尘灰代替脱硫剂, 提高脱硫石灰的利用效率

2.1.1. 脱硫除尘灰与脱硫剂脱硫效果对比实验

KR 脱硫除尘灰含有大量的 CaO 与少量氧化铁, 可进行回收利用, 将 KR 脱硫区域不同工位分别使用脱硫剂与除尘灰进行脱硫, 统计分析脱硫用除尘灰和脱硫剂消耗量和降温量区别见表 1。

表 1 除尘灰和脱硫剂消耗量和降温量对比

Table 1 Comparison of dust removal and desulfurization agent consumption and cooling amount

类别	除尘灰	脱硫剂
个硫搅拌时间	1.72min	0.82min
吨铁个硫消耗	1.07kg	0.31kg
个硫降温量	4.94°C	2.33°C

经统计, KR 平均脱硫量为 0.018%, 以此测算除尘灰、脱硫剂消耗见表 2。

表 2 除尘灰和脱硫剂消耗对比

Table 2 Comparison of dust removal and desulfurizer consumption

类别	除尘灰	脱硫剂	差值
个硫搅拌时间	30.96min	14.76min	16.2min
吨铁个硫消耗	19.26kg	5.58kg	13.68kg
平均降温量	51°C	37°C	14°C

2.1.2. 除尘灰脱硫模型的建立

根据不同硫需求及原料条件建立除尘灰脱硫模型

硫含量每低 0.001%除尘灰加入量减少 0.2 千克/吨铁，脱前硫超 0.025%的，下料量按上限控制，脱前硫 0.025%以内的按下限控制。脱前硫 0.030%以上的，若脱后硫不满足 0.005%以下，可增加除尘灰单耗 1.0kg/吨铁。

2.2. 低成本造渣料的应用

转炉主要的造渣料为石灰与轻烧白云石，目前两种造渣量大部分采用麦尔兹窑或竖窑煅烧生产，随着石灰与轻烧白云石均有大幅度涨价，转炉生产成本随之升高。由于铁水的物理热，转炉内开始反应温度在 1200°C 以上，达到了石灰石与生白云石分解温度，利用转炉富余热量将石灰石与生白云石加热分解，再参与造渣反应，能达到降低成本的目的。

2.2.1. 生白云石造渣技术

生白云石的主要成分是 CaCO_3 和 MgCO_3 ，是生产加工轻烧的原料，其在 1000°C 左右高温能分解出 MgO 和 CaO ，吸收大量热同时产生大量 CO_2 。转炉冶炼过程中铁水面的温度高达 1200°C，火点区域温度高达 3000°C，分解生成的 CO_2 气体瞬间膨胀 4000 倍以上，推动生成的 CaO 和 MgO 飞到渣中。同时，因为 CO_2 的逸出，使新生成的轻烧白云石呈现多孔细晶状，使新生成的轻烧白云石成渣速度提高。

根据转炉泡沫渣的形成机理分析，前期渣形成过程中，由于生白云石分解生成 CO_2 气体弥散在初期渣中，有利于初期泡沫渣形成提高了气-熔渣-金属界面面积，加快了熔池内化学反应速率，促进了前期的磷的氧化反应。生白云石分解造渣过程中需要消耗巨大的热量。生白云石在炉渣中分解主要生成 CaO 与 MgO ，两者分别为造渣材料与护炉材料。温度、组分是影响生白云石造渣的关键因素。在合适的温度、组分条件下，生白云石可以在转炉内直接成渣。

假定设定废钢的冷却效应为 1，则常用冷却剂的冷却效应换算值见表 3。

表 3 冷却剂的冷却效应换算值

Table 3 Conversion value of cooling effect of coolant

冷却剂	重废钢	生铁块	烧结矿	铁块石	氧化铁皮	石灰石	生白云石	石灰
冷却效应值	1.0	0.7	3.0	3.0-3.6	3.0	2.2	2.2	1.0

根据上表可知，若假设废钢的冷却效应为 1，则轻烧白云石的冷却效应约为 1，生白云石的冷却效应约为 2.2，烧结矿的冷却效应约为 3.0，即每加入 1kg 生白云石，按冷却效应计算，可同时减少 0.73kg 烧结矿。

通过计算，在保证炉渣中 MgO 达到 7% 的前提下，轻烧白云石与生白云石的置换比为 1 比 1.93，则 500kg 轻烧白云石可用 965kg 生白云石替代，按冷却效应计算，对应烧结矿加入量应减少约 $965 \times 2.2 / 3.3 - 500 \times 1 / 3 \approx 540\text{kg}$ 。

加入生白云石相应减少轻烧白云石和烧结矿参考量见表 4。

表 4 生白云石与轻烧白云石和烧结矿的换算量

Table 4 Conversion of raw dolomite to light burned dolomite and sinter

生白云石加入量, Kg	相应白云石减少量, Kg	相应烧结矿减少量, Kg
500	260	280
600	310	340
700	360	400
800	410	450
900	470	500
1000	520	560

2.2.2. 石灰石造渣技术

石灰石在石灰窑里经过预热、缓慢升温到 900~1100°C 煅烧，分解出约 40% 的 CO₂ 气体，剩下以 CaO 为主要成分的石灰，是炼钢原料中最主要的造渣剂，石灰加入转炉里熔化成渣的机理，经典的成渣理论可归纳为以下三步进行：

(1) 炉渣组元向石灰块表面扩散以及向内部渗透。

(2) 炉渣中(FeO)、(Fe₂O₃)组元与石灰中的 CaO 发生化学反应形成低熔点化合物熔融体，石灰被逐步熔化成渣。

(3) 渗透到石灰块内部的(FeO)、(Fe₂O₃)与石灰中 CaO 反应形成的低熔点熔融状态的化合物与石灰块本体分离并进入炉渣。

由此可见，石灰石参加反应首先要达到 1100°C 的分解温度，此条件在转炉冶炼初期即可满足。石灰石分解产生石灰，影响其熔化速度的主要因素是渣中(FeO)、(Fe₂O₃)的含量，此条件可通过过程操作调整实现。

2.3. 转炉除尘灰代替矿石造渣技术

为验证转炉使用除尘灰压球对冶炼过程以及钢水质量的影响，在银山型钢炼钢厂组织工业试验，采集到有效炉次220炉，对采集炉次数据进行简单处理如表5。

表5 试验炉次信息

Table 5 Test heat information

平均铁水硅	平均铁水硫	平均TSO硫	平均冷料摄入量	平均除尘灰压球摄入量
0.41%	0.017%	0.020%	4362	2168kg (16.8kg/t)

对数据进行处理，绘制不同压球吨钢摄入量与钢水增硫量散点图，并进行线性回归拟合，如图1所示。

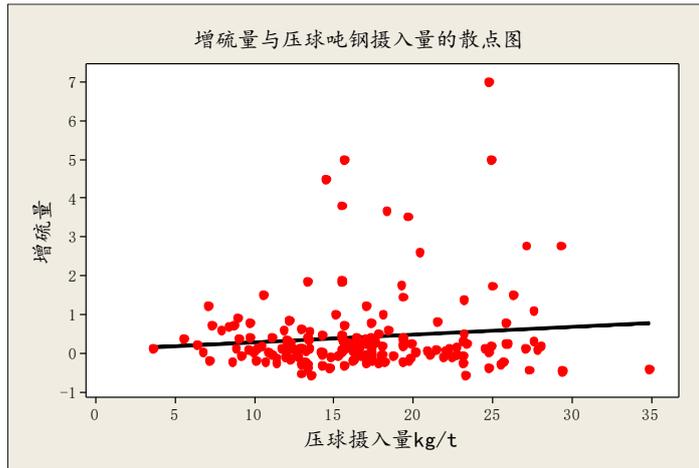


图1 压球吨钢摄入量与增硫量散点图

Fig.1 Scatter plot of intake and sulfur increase per ton of steel for pressure ball

从散点图来看，钢水的增硫量与压球吨钢摄入量没有明显的对应性。但是从线性回归拟合情况来看，随着吨钢摄入量的增加，钢水的增硫量有上升趋势。线性回归拟合方程如下：

$$S\text{增量}=0.0586+0.02012*\text{吨钢摄入量} \quad R\text{-Sq}=1.2\%$$

R-Sq=1.2%，说明回归模型与数据拟合可信度差。

绘制压球平均摄入量与平均增硫量的折线如图2

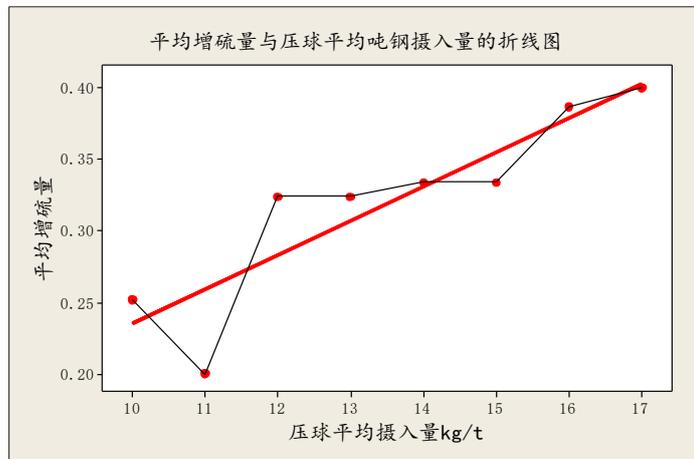


图2 压球平均吨钢摄入量与平均增硫量折线图

Fig.2 Broken Line Diagram of Average Tonnage Steel Intake and Average Sulfur Increase of Pressure Ball

从图2中可以看出，随着压球吨钢摄入量的增加，钢水增硫量呈上升趋势，利用Minitab工具对图中数据进行线性回归拟合，方程如下：

$$\text{增硫量}=-0.00377+0.02394*\text{压球吨钢摄入量} \quad R\text{-Sq}=79.3\%$$

S-Sq=79.3%，说明回归模型与数据拟合可信度较高。按照线性回归拟合方程近似计算，压球摄入量每增加1kg/t，增硫量增加0.02ppm。压球摄入量达到20kg/t时，钢水增硫量约为4.75ppm。

3. 效果简介

(1)该技术通过研究开发除尘灰代替脱硫剂，优化除尘灰脱硫工艺，在确保脱硫效果同时降低了脱硫剂消耗。

(2)根据炉内反应状况，开发利用生白云石、石灰石代替轻烧白云石、石灰造渣，促进高效脱磷，除尘灰的回收利用，提高了金属料料的回收率，为转炉冶炼提供良好的条件同时进一步降低了成本。

(3)研究利用转炉干法除尘灰中的含铁元素与活性氧化钙促进转炉成渣，并建立冶炼过程的操作模型，全量替代烧结矿造渣，有效降低金属损耗，降低转炉成本。

4. 结论

(1)本项目开发的除尘灰替代脱硫剂及其使用模型科学合理，应用效果良好，脱硫效率较高，脱硫剂消耗降低了 1.0kg/t 以上。

(2)通过研究转炉炼钢造渣辅料的特点，研究开发出了高效低成本新辅料用以替代传统辅料进行转炉造渣冶炼，确定了石灰石、生白云石与石灰、轻烧白云石之间的替代比例冷却效应，石灰消耗降低 3kg/t 左右，达到降本增效的目的。

(3)研究除尘灰压球使用过程对转炉冶炼过程、钢水质量的影响，开发出了高效低成本辅料冶炼新工艺，通过应用模型的实施，有效降低了转炉生产成本。

参考文献

- [1] 刘根来，张宏文等编著.炼钢原理与工艺[M]，冶金工业出版社，2004 年 10 月.
- [2] 包燕平，冯捷等编著钢铁冶金学教程[M]，冶金工业出版社，2013 年 1 月.