

# 首钢 80 吨转炉溅渣护炉工艺研究及实践

张 心 林

(首钢第三炼钢厂)

**摘 要** 溅渣护炉工艺技术在首钢第三炼钢厂实施后取得了明显的经济效益。本文介绍了溅渣护炉工艺技术的实施状况,根据溅渣护炉工艺技术特点分不同因素进行了系统研究和实践,进而优化了溅渣工艺参数。论述了溅渣护炉提高转炉炉龄的方法和措施。

**关键词** 溅渣护炉 工艺研究 实践

## SLAG SPLASHING RESEARCH AND PRACTICE ON SHOU GANG 80-TONNAGE BOF

Zhang Xinlin

(No.3 Steel Plant of SG)

**ABSTRACT** No.3 Steelmaking Plant of Shou Gang had gained great benefit from the technology of Slag Splashing in recent years. It was introduced in this paper that the practice of this technology in No.3 Steelmaking Plant of SG, the research process of slag splashing according to characteristics of this technology, in which the technical parameter of the operation in steelmaking was optimized systematically. And then, the ways of improving the BOF campaign by slag splashing was illustrated in the article.

**KET WORDS** slag splashing, research, practice

### 1 前言

转炉炉龄是炼钢厂一项重要的技术经济指标,首钢第三炼钢厂实施溅渣护炉工艺技术以来转炉炉龄逐年提高,目前三座转炉炉龄均突破了万炉,最高炉龄 11377 炉达到了国内先进水平。进行中的炉役炉龄正在向 15000 炉炉龄冲刺。

首钢第三炼钢厂现有公称容量 80 吨转炉三座, L F 炉和 V D 炉各一座,配 8 机 8 流小方坯连铸机四台,年产钢 250 万吨,连铸比 100%。溅渣前 1995 年平均炉龄为 1177 炉。为使转炉炉龄能够适应生产要求,于 96 年 11 月份正式引入溅渣护炉工艺技术,目前转炉炉龄指标跃居全国先进行列。

### 2 溅渣护炉工艺装备及参数简介

第三炼钢厂溅渣护炉用氮气由公司氧气厂提供,溅渣与冶炼使用同一支喷枪。

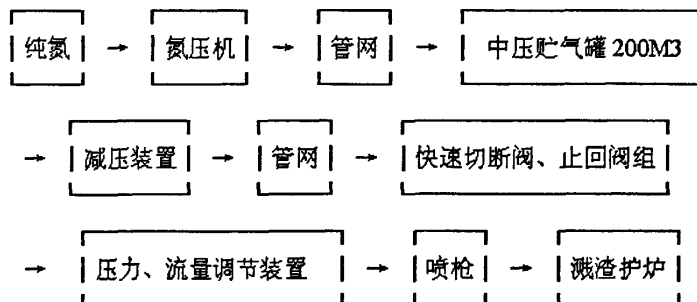


图 1 溅渣护炉用氮流程图

### 2.1 工艺设备

溅渣护炉设备系统主要由三部分组成:

- (1) 氧气厂氮气压缩站;
- (2) 氮气管网系统;

(3).喷枪及氮气控制系统。

溅渣护炉用氮流程如图 1 所示。

## 2.2 溅渣工艺参数

氮气总管压力  $\geq 1.6\text{MPa}$

供氮强度  $\geq 3.5\text{Nm}^3/\text{t}\cdot\text{min}$ .

开始溅渣炉龄  $\geq 50$  炉

溅渣时间 2.5-3.5min

转炉终渣氧化镁 11-14%

## 3 溅渣护炉工艺实践及研究

国内外转炉溅渣护炉效果较好的钢厂共性：铁水含硅较高(一般大于 0.60%)，渣量大，溅渣层较厚，出钢温度低；另外生产节奏相对较慢，溅渣的时间有保证，溅渣效果比较明显。相比之下首钢三炼钢厂实施溅渣护炉客观条件极其不利：作为小方坯全连铸生产厂，首钢三炼当时平均出钢温度高达 1710-1720℃；由于铁水含硅量较低，转炉终渣量仅为 80Kg/t 钢左右；炉渣氧化镁低(6-8%)，终渣全铁偏高，粘度低，与炉衬粘结不够理想，抗侵蚀性能差。

根据分析对冶炼造渣制度、溅渣制度、补护炉制度进行了系统调整和完善。

### 3.1 喷吹参数的研究及调整

充足的氮气压力是保证一定粘度的炉渣能够溅起来的前提。针对具体的转炉炉型尺寸，确定溅渣护炉所必需的喷吹参数主要包括喷吹  $\text{N}_2$  的工作压力及流量、最佳的喷吹枪位、适宜的喷枪结构和尺寸参数。

对于吹氧吹氮使用同一根氧枪的第三炼钢厂来说，主要考虑前两者确定合理的溅渣参数。通过实践，得出如下结论：三炉溅渣  $\text{N}_2$  总管压力) 1.8MPa；双炉溅渣  $\text{N}_2$  总管压力) 1.6MPa；单炉溅渣  $\text{N}_2$  总管压力) 1.3MPa，低于以上压力，耳轴以上包括炉帽将很难得到有效维护；溅渣护炉氮气流量设定与吹炼用氧气基本相当。

枪位要根据具体条件和需求而定，当枪位降低时，对渣的冲击面减小，冲击深度增大，供给的能量大部分消耗于熔池内部，但这时渣滴的能量大，可飞溅出炉口；当枪位升高时，冲击面增大，炉渣溅起高度降低。因此枪位控制没有固定模式。根据炉况不同而相应变化枪位。三炼钢厂溅渣枪位一般采用高一低方法。开始枪位下降到终点降枪位置。随着炉内温度下降，炉渣的流动性降低，枪位下降 200-300mm。吹氮枪位一般控制在 1.9--2.5 米。通过充足的氮气压力，适宜的枪位控制使得炉渣能够达到需要维护的部位。

### 3.2 炉渣性质研究及应用

溅渣护炉工艺中，转炉造渣既要保证冶炼的需要，又要有利于提高溅渣护炉的效果，炉渣的控制应达到早化渣，化好渣，终渣粘，溅得起，粘得上，耐侵蚀的要求，特别要控制好冶炼过程及终点炉渣  $\text{MgO}$  含量， $\text{TFe}$  含量、碱度及炉渣过热度、粘度的调整。

#### 3.2.1 溅渣层与炉衬粘结性能研究

资料研究表明：(1)、在溅渣过程中，低熔点化合物( $\text{FeOx}$ 、 $\text{C}_2\text{F}$  和  $\text{RO}$  相)易于喷溅在炉衬上，先于炉壁润湿结合，形成表面较为光滑的溅渣层。(2)、高熔点相  $\text{C}_2\text{S}$ 、 $\text{C}_3\text{S}$ 、 $\text{MgO}$  结晶颗粒和少量游离  $\text{CaO}$ ，受冲击气流的作用镶嵌在耐火材料表面或冷凝在已形成的低熔点溅渣层内，形成表面粗糙的溅渣层。

一定的炉渣碱度、粘度是炉渣与炉衬粘附的必要条件，确定较为合理的终渣碱度、粘度和熔池温度是关键。炉渣粘度与终点碳、终点温度及终渣化学成份密切相关。

三炼钢厂主要钢种的终渣成份，熔化温度及岩相分析的结果：Q235 钢种终渣成份为  $\text{TFe}12-16\%$ 、 $\text{MgO}11-16\%$ 、 $\text{R}3.4-4.2$  熔化温度 1430-1610℃；高碳钢终渣成份为  $\text{TFe}10-14\%$ 、 $\text{MgO}11-14\%$ 、 $\text{R}3.4-3.6$  熔化温度 1590-1630℃。其岩相结构：以  $\text{C}_3\text{S}$ 、 $\text{C}_2\text{S}$  为主(60-70%)， $\text{RO}$  相占 15-20%，游离方镁石占 7-10%，少量未熔  $\text{CaO}$ 。

在实际冶炼操作中，要求终渣碱度达到 3.4-3.8，平均为 3.7 左右。 $\text{TFe}$  控制在 10-15%，平均值为 13% 左右。在要求“初期渣早化，过程渣化透，终渣做粘”的同时，对萤石用量作出了明确要求：吨钢消耗不超过 4.5Kg。

#### 3.2.2 溅渣层抗侵蚀性能研究

溅渣护炉的最终目的就是把炉渣作为一种准耐火材料，达到维护炉衬的目的，提高炉渣的抗侵蚀性能是溅渣护炉工作的中心。

高碱度、过饱和 MgO 的稠渣溅到炉衬上后，随着炉内温度的降低，在炉衬表面析出了高熔点的方镁石和 C3S.C2S 能耐高温气流及炉渣的侵蚀冲刷，起到护炉的功能。因此合理的炉渣控制是溅渣护炉的基础。

#### (1)、炉渣过程 MgO 的控制

溅渣层是一种高碱度且含 MgO 较多的炉渣，低碱度低 MgO 的初渣对溅渣层有很大的侵蚀速度。早化初渣使得碱度快速升高，同时加入含 MgO 材料提高初渣 MgO 含量，会有效的减少初渣对溅渣层的侵蚀。根据这一点，选用轻烧白云石作为渣中 MgO 的主要来源，在开吹的同时随头批料一并加入。加入量为 10-15 公斤/吨钢，从 CaO-SiO<sub>2</sub>-FeO-MgO(1600℃)的渣系溶解度相图中可以看出，MgO 在低碱度炉渣中有很高的溶解度，也就是说在转炉吹炼的初期低碱度渣中，对镁质炉衬砖有很强的侵蚀能力。由于稠渣剂材料中含有较高的 MgO，为初期渣提供了 MgO 来源，从而减低了前期渣对炉衬的侵蚀。另外，由于炉渣碱度升高时渣中氧化镁的饱和值降低。当前期渣中 MgO 达到饱和后，因石灰继续熔化，使炉渣碱度上升，原来在炉渣中处于熔融状态的 MgO 就有一部分以固态形式析出，结果使渣子变稠，对溅渣十分有利。前期加入足量轻烧白云石，不但保证了终渣 MgO 过饱和，而且使得过程渣中 MgO 接近或达到饱和，很大程度上减少了炉衬上氧化镁的损失。

三炼钢厂正常冶炼炉次每炉进入渣中氧化镁总量达到 1.37 吨，理论配镁量为 14.48%。实际目前终渣 MgO 控制在 11-15%。终渣 MgO 含量低不利于溅渣护炉效果，但终渣渣 MgO 15%时，则会因炉渣过稠不宜溅起，炉底上涨同时给冶炼操作带来严重困难，还影响脱硫效率。

#### (2)、炉渣 FeO 的控制

对于溅渣护炉，终渣 FeO 有双重作用：一方面渣中 FeO 和 CaF<sub>2</sub> 在溅渣过程中沿衬砖表面显微气孔和裂缝向 MgO 机体内部扩散，形成以 (MgO.CaO)Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为主的烧结层，有利于溅渣层与炉衬砖的结合。另一方面，随着渣中 FeO 含量的升高，炉渣的熔化温度明显降低，不利于提高溅渣层抗高温炉渣侵蚀的能力。在操作上尽量把终点碳控制在合适的范围，减少后吹比，控制降枪时间，力争把 TFe 控制在 10-13%。

部份后吹及低碳炉次，终渣 TFe 高达 20%左右，炉渣稀，溅渣效果极其不好，通过对不同(FeO)含量的炉渣及熔化温度测定，得出终渣熔化温度与终渣 TFe 含量有着十分密切的关系。当终渣 TFe 大于 20%时，其熔化温度为 1450℃，当终渣 TFe 降低接近 10%时，其熔化温度可达到 1600℃以上。目前我厂终渣 TFe 控制在 10-15%。

终渣 TFe 控制过高，使得炉渣变稀，既不利于溅渣层粘结又降低其耐侵蚀性能，针对这种状况需在开始溅渣 10 秒左右根据渣况补加一定量的轻烧白云石，调整炉渣成份及温度。

根据对溅渣护炉工艺的机理研究探索可知，在氮气气源压力得到保证、流量和枪位设定合理、炉渣调整适宜的基础上，还必须做到以下几点：

##### (1)一定的渣层厚度。

为使溅起炉渣能够维护整体炉衬，因此必须要有一定的留渣量。首钢铁水含硅较低，转炉总渣量较小，终点渣量约为 7-8 吨，溅渣时实际利用渣量一般只有 3-4 吨左右。通过采取人为加高炉前平台，提高取样孔；出钢时采取挡渣操作等目前炉内余渣能够满足溅渣需要。

##### (2)必要的溅渣时间

冶炼终点，过热度高的炉渣是不易粘结到炉衬上的。因此，必须要有一定的吹氮冷却时间，同时，要使渣层粘结到相应厚度，必须有足够的溅射时间，吹氮时间过短，溅射到炉衬上的炉渣容易流下来达不到护炉的效果，吹氮时间过长，又影响冶炼周期。我厂通过摸索，根据渣量渣况吹氮时间定为 2.5-3.5min。

##### (3)适当的终点温度

溅渣实践表明，降低炼钢过程温度，不但提高了补护炉材料的耐用寿命，而且大大提高了溅渣效果。近年来，通过铸机高效化改造，加强生产组织，洁净钢包及红包出钢等在降低系统温度上取得了明显的效果。

##### (4)优化冶炼操作指标

冶炼操作指标的优劣,直接关系到炉衬(包括溅渣层)熔损速率的大小。在一定程度上决定了钢厂炉龄指标的水平。炉衬厚度一定的情况下,熔损速率与炉龄成反比。

表 1 溅渣前后典型炉役冶炼参数对比和炉衬蚀速对比

| 炉役号    | 炉龄(炉) | 耳轴平均蚀速(mm/炉) | 高温钢比% | 后吹比% | 低碳比% | 碱度 R | TFe% |
|--------|-------|--------------|-------|------|------|------|------|
| 95D-07 | 1403  | 0.37         | 28.2  | 28.8 | 24.1 | 3.07 | 14.3 |
| 96D-06 | 1822  | 0.29         | 20.6  | 24.7 | 19.5 | 3.13 | 13.5 |
| 99F-01 | 11377 | 0.05         | 12.8  | 23.9 | 14.3 | 4.13 | 13.4 |

炉龄中后期,一段时间炉衬蚀速维持在很低的水平,冶炼良好时,一度接近“零侵蚀”。此阶段各项冶炼指标较好:高温钢比 $\leq 5\%$ (高于 $1710^{\circ}\text{C}$ ),后吹比 $\leq 15\%$ ,低碳比 $\leq 10\%$ ;氮气压力较为正常,炉底上涨较少。

(5)提高溅渣率

关于溅渣率与炉龄的关系可从溅渣工艺实施以来,部分炉役炉龄与溅渣率的对应数值得到反映。

表 2 炉役炉龄与溅渣率的关系

| 炉役号   | 97E-01 | 97F-02 | 97F-03 | 98D-01 | 98F-01 | 99F-01 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 炉龄(炉) | 2228   | 3518   | 4708   | 6238   | 9119   | 11377  |
| 溅渣率%  | 50.1   | 68.13  | 77.3   | 86.5   | 92.09  | 93.01  |

从表 2 可以看出,转炉炉龄随着溅渣率的提高而提高。

4 炉型的控制

首钢三炼钢厂对转炉炉衬实施炉役全程激光测厚,根据测厚仪提供的数据,可以合理地控制溅渣层厚度,评估溅渣质量。采用溅渣护炉后,由于炉底粘渣,炉底上涨是普遍存在的问题,炉龄中后期坚持经常性的测量炉底高度,必要时洗除部份炉底粘渣,能够比较好的控制炉底高度。

5 溅渣护炉效果与经济效益

(1)溅渣护炉效果 溅渣护炉工艺技术实施后,三炼钢厂炉龄大幅度上升,炉役数由溅渣前的 24 个减少到 99 年度的 3 个,平均炉龄由溅渣前的 1177 炉提高到 99 年度的 11377 炉。

(2)经济效益 以溅渣前炉役作为基数,实施溅渣护炉炉衬砖、补护炉费用大幅度降低,取得显著经济效益,吨钢成本降低 6.09 元。

6 结论

(1)首钢第三炼钢厂经过三年多来的溅渣护炉工艺实践,已经探索出适合本厂冶炼工艺的溅渣工艺参数,经过实践,说明目前溅渣护炉工艺是能够满足高炉龄的需要。溅渣护炉技术实现了转炉炉龄的大幅度增长,为炼钢生产赢得了充足的时间,带来了生产组织新的模式,促进了经营生产的良性循环。

(2)采用溅渣护炉工艺,99 年平均炉龄达到 10776 炉是溅渣前 1995 年的 9.16 倍,最高炉龄为 11377 炉。转炉炉龄提高,保证了炼钢均衡生产。

(3)第三炼钢厂目前冶炼条件下,较为理想的溅渣渣系为:  $\text{MgO}11-15\%、\text{TFe}\%10-13\%、\text{R}3.4-4.0$ 。

(4)溅渣护炉工艺技术的实施取得了明显的经济效益。99 年因转炉炉龄提高使吨钢综合成本下降 6.09 元,全年实现经济效益 1477.43 万元。

(5)提高转炉炉龄以降低成本提高经济效益为最终目的,在目前原材料条件、冶炼操作水平及管理方式下,高炉龄对企业整体利益是有利的。探索溅渣护炉条件下经济炉龄是下一步工作的重点。

参 考 文 献

1 苏天森,转炉溅渣护炉技术,北京,冶金工业出版社,1999  
 2 刘润等,溅渣层形成和对炉衬保护机理的研究,钢铁,1999,(11),12-15