

## 钒钛铁水冶炼提升废钢比的探索与实践

张彦恒 周海龙 喻林 卓钧  
(攀钢集团西昌钢铁有限公司炼钢厂, 西昌 615000)

**摘要** 西昌钢铁有限公司高炉使用钒钛矿, 铁水含钒钛较高, 炼钢采用提钒-炼钢的双联工艺, 提钒过程的冷却工艺削弱了热源优势, 半钢碳低、硅低、锰低和温度低的特点又造成炼钢转炉热源不足, 成渣难等问题, 限制了提钒炉和炼钢炉废钢比的提升。通过对提钒炉、炼钢炉提高废钢比的工艺研究和探索, 西昌钢铁成功将全流程的废钢比从 2% ~ 6% 的水平提升至 7% ~ 10% 水平, 并保证了转炉的炉体状况和钢水洁净度, 在钒钛铁水冶炼的企业中处于先进水平。

**关键词** 钒钛铁水 半钢冶炼 废钢消耗 终点控制

## Practice and Exploration on Raising Scrap Ration during Steelmaking with V-Ti Hot Metal

Zhang Yanheng, Zhou Hailong, Yu Lin and Zhuo Jun  
(Steelmaking Plant, Xichang Steel & Vanadium Co Ltd, PG Group, Xichang 615000)

**Abstract** Xichang company's steelmaking plant adopts duplex steelmaking process which includes vanadium-extracting and steelmaking. In the process, vanadium extracting reduces the total heat. After vanadium extracting, the product is called semi-steel. Compared with normal hot metal, semi-steel causes lots of steelmaking problems such as heat lack and low quality steel slag, for its low carbon and silicon and manganese and temperature. All of those mentioned limit plant's scrap metal and pig iron consumption. Through exploration and study, the total scrap ration is smoothly raised from 2% ~ 6% to 7% ~ 10%. Meanwhile, the converter refractory brick and steel clearness are safe. The plant's scrap ration takes a leading position in the steelmaking plants using V-Ti hot metal.

**Material Index** V-Ti Hot Metal, Steelmaking with Semi-Steel, Scrap Ration, Blowing End Control

攀钢集团西昌钢铁有限公司的高炉使用钒钛磁铁矿冶炼, 铁水中钒、钛含量较高, 炼钢前先要进行提钒处理, 去除铁水中的钒和钛, 炼钢转炉使用提钒后的半钢冶炼。铁水提钒的过程需要控制反应温度, 限制了废钢消耗水平; 半钢炼钢时硅、锰、钛元素为近乎痕迹量, 造成热源不足、无成渣元素使得成渣缓慢, 冶炼时间短等问题, 不利于提高废钢消耗和稳定终点控制。

充分消耗公司内部的废钢资源, 提高废钢比能有效解决资金占用<sup>[1]</sup>。目前国内采用双联工艺的钢厂废钢比在 4% ~ 12%, 远低于全铁水炼钢的钢铁企业。

### 1 工艺流程简介

工艺流程: 高炉铁水-200 t 提钒炉提钒-200 t 脱硫站喷吹脱硫-200 t 炼钢炉炼钢-钢水精炼-连铸。

西昌钢铁有限公司的转炉铁水、半钢和出钢钢水成分与温度见表 1。

提钒转炉出钢温度控制较低, 使用生铁块和渣铁做废钢资源, 炼钢转炉废钢使用自产废钢和外购

表 1 转炉输入输出条件  
Table 1 Input and output conditions of BOF

项目	成分/%					温度/ °C
	C	Si	Mn	V	Ti	
转炉铁水	4.26	0.17	0.24	0.32	0.16	1 330
半钢钢水	3.71	0	0.05	0.03	0	1 316
出钢钢水	0.057	0	0.03	0.01	0	1 657

废钢。

### 2 热平衡分析

提高废钢消耗的主要影响因素<sup>[2]</sup>是铁水质量, 工艺流程和冶炼工艺。提钒的过程需要控制反应温度, 将出钢温度控制在钒碳转换温度附近, 因此提钒工艺限制了提钒转炉废钢消耗的提升。

铁水在提钒过程中, 需要控制炉渣中的 FeO 含量和升温速率<sup>[3]</sup>。控制升温速率可在保证最基本冷却强度的基础上, 用生铁块替换一部分冷却剂, 提升提钒转炉的废钢比(表 2)。

提钒过程中, 铁水 Si 含量增加与工艺需求相矛盾。铁水含硅高将导致钒渣中 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 降低, 钒渣中 SiO<sub>2</sub> 上升, 后工序浸出困难, 钒收率降低, 同时也势

表 2 提钒冷却剂冷却效应表

Table 2 Cooling effect sheet of vanadium-extracting coolant

冷却剂	吸热值/ (kJ · kg <sup>-1</sup> )	冷却效应/ (°C · t <sup>-1</sup> )
生铁块	1 198	1.5
钒渣	2 077	2.6
绝废渣	1 502	1.9
球团/冷压块	3 741	4.7

表 3 炼钢转炉热平衡表

Table 3 Heat balance sheet for converter steelmaking

热收入项			热支出项		
项目	热量/kJ	比例/%	项目	热量/kJ	比例/%
铁水/半钢物理热	271 189 355.2	64.6	钢水物理热	298 876 959.5	73.2
元素氧化放热及成渣热	134 835 572.1	32.1	炉渣物理热	43 002 642.9	10.5
生成 CO 放出热量	81 869 833.6	60.7	烟尘物理热	4 909 577.8	1.2
生成 CO <sub>2</sub> 放出热量	28 680 737.2	21.3	炉气物理热	33 740 654.7	8.3
Si 氧化放出热量	0	0	石灰/高镁石灰分解热	797 485.8	0.20
Mn 氧化放出热量	31 870.8	0	渣中铁珠带走热	3 133 213.5	0.77
P 氧化放出热量	5 455 622.4	4.0	喷溅金属带走热	2 730 011.8	0.67
Fe 氧化放出热量	17 896 960.6	13.3	吹炼过程热损失	21 000 090.8	5.1
V 氧化放出热量	622 261.5	0.5			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 成渣热	137 319.0	0.1			
SiO <sub>2</sub> 成渣热	140 967	0.1			
烟尘氧化热	13 221 180.35	3.15			
炉衬中 C 氧化放热	754 553.675	0.18			
总和	420 001 815.7	100	总和	408 190 636.8	100

必会消耗更多的冷却剂,不能改善半钢质量。

由表 3 可见,转炉热源中,半钢的碳含量、半钢温度对废钢比的提升是最为关键的条件。转炉对应的经济废钢计算如下:

$$Q_f(\text{过剩}) = Q_z(\text{总热}) - Q_z(\text{支出}) = 11\,811\,178.95 \text{ kJ}$$

$$\text{废钢吸热: } Q_{\text{废}} = 1\,000 \times [0.699 \times (1\,523 - 25) + 272 + 0.837 \times (1\,657 - 1\,523)] = 1\,431\,260 \text{ kJ}$$

即在现有生产条件下,经济废钢 8.25 t,折算为吨钢消耗废钢量为 40.2 kg/t<sub>钢</sub>(钢水量取 205 t)。

### 3 提高废钢消耗的探索

#### 3.1 提钒炉提高废钢消耗的探索

为保证钒的收率,冶炼前期炉渣中 FeO 含量 > 45%,分批次加入冷却剂控制半钢的升温速率,半钢 V 才能降到 0.05% 以下。

冷却剂由冷压块和生铁块构成,在保证基本冷却强度的基础上,可增加部分生铁块量,用生铁块置换部分冷压块,提高提钒炉的废钢比(生铁块)(图 1)。按照基础冷却渣料“冷压块/球团”30 kg 计算,其余冷却剂用废钢替换,可提高提钒生铁块 15 kg/t。

配合采用降低提钒出钢温度 10 °C,理论上可增加废钢消耗 7 ~ 8 kg/t。采取综合措施后,提钒生铁

块用量可达 35 kg/t 左右。

#### 3.2 炼钢炉提高废钢消耗的探索

##### 3.2.1 使用提温剂提高废钢比

使用提温剂对半钢进行提温是提高转炉热源的最有效措施<sup>[4]</sup>。提温剂使用的品种有无烟煤增碳剂、硅铁,提温剂的对比情况见表 4 所示。

炼钢转炉造渣使用 XG 造渣剂,主要成分是 SiO<sub>2</sub> 和 MnO<sub>2</sub>。炼钢转炉渣系 CaO-SiO<sub>2</sub>-MgO-MnO 中, MnO 基本由 XG 造渣剂提供,造渣剂用量的降低,带来了炉渣中的 MnO 降低 2%,致使炉渣的熔点降低<sup>[5]</sup>, MnO 的饱和值降低,抗侵蚀能力明显降低,不利于炉体安全

控制。因此 XG 造渣剂造渣剂的用量按 7 ~ 8 kg 控制。硅铁热源补偿不足部分,需要使用增碳剂补偿。

硅铁最大量(400 ~ 450 kg/炉) + 增碳剂(500 ~ 2 000 kg/炉)综合提温后,废钢消耗可在现有基础

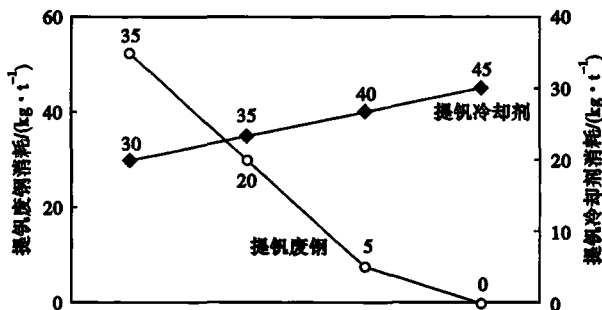


图 1 提钒炉冷却剂与废钢消耗的平衡图

Fig. 1 Balance chart of coolant and scrap consumption in vanadium-extracting

表 4 提温剂使用情况对比

Table 4 Comparison of conditions of agents used for heating

提温工艺	优点	缺点	工艺应用时间
单独增碳剂提温	提温剂资源多	回硫、返干和泄爆、热效率低,品种钢限制	2011 年 ~ 2014 年
单独硅铁提温	成本低、成渣快、热效率高、不回硫	碱度波动大、渣相单一不利于炉体维护	2014 年 ~ 2016 年
硅铁 + 增碳剂提温	炉体溅渣效果得以保证	废钢比受限制	2017 年起

上增加 16 ~ 23 kg/t,即转炉的废钢消耗可到 65 kg/t左右。炼钢转炉的废钢消耗与硅铁、增碳剂的关系见图 2。

### 3.2.2 降低转炉出钢温度

降低转炉的出钢温度能够提高废钢比。转炉的出钢温度越高,出钢过程温度损失越大。典型钢种的出钢温度与温降的关系见图 3。转炉出钢温度与出钢过程温降的关系为:出钢过程温降 = -629.2 + 0.4112 × 转炉出钢温度。

降低出钢温度 5 °C 可提高废钢消耗 3 kg/t。为保证出钢温度降低后对后工序不产生影响,出钢口直径由 Φ160 mm 增至 Φ180 mm,转炉的出钢过程温降减少了 5 °C。为保证转炉降低出钢温度的实施,严格控制钢包的热包温度 > 800 °C。实施后,转炉的废钢消耗提升了 4.3 kg/t。

### 3.2.3 减少炉内热损耗

通过开展提高转炉的留渣比例,转炉的留渣比

例从 34% 增加至 57% 时,废钢消耗水平可以从 35 kg/t 提升至 39 kg/t;转炉渣量从 50 kg/t 降低至 45 kg/t,废钢消耗可以提高 2 kg/t 左右。

## 4 应用效果

提钒转炉通过温度控制,冷却工艺优化,提钒的废钢消耗达 15 kg/t。炼钢转炉通过硅铁提温 + 增碳剂综合温度补偿措施,配合少渣冶炼、留渣加料、降低出钢温度等手段,废钢消耗达到了 61.8 kg/t<sub>钢</sub>。废钢比提升后,转炉的吹损值降低,连铸钢水水口堵塞的比例基本相当。

目前西昌公司的废钢比仅能达到 7% ~ 10% 水平。钒钛铁水冶炼特点制约了废钢比的提高,未来的一些工艺技术的应用,如钢包加盖、废钢预热、合金预热,二次燃烧技术氧枪<sup>[6]</sup>,有望继续提高钒钛铁水冶炼的废钢比<sup>[7]</sup>。

## 5 结论

(1) 含钒钛铁水采用提钒工艺后,提钒过程的冷却速率控制削弱了废钢消耗。

(2) 使用部分生铁块置换冷却,提钒炉的废钢消耗可达到 15 kg/t 水平。

(3) 炼钢转炉采用“硅铁 + 增碳剂”综合提温,降低转炉出钢温度,提高留渣操作比率等措施后,转炉废钢消耗由过去的 35 kg/t 提高至 61.8 kg/t,全流程废钢消耗可达到 70 ~ 80 kg/t,使废钢比达到 7% ~ 10%。

### 参考文献

- [1] 中国废钢铁应用协会. 废钢铁产业“十二五”发展规划[R]. 2010:1.
- [2] Szekely J, Chuang Y K and Hlinka J W. The Melting and Dissolution of Low-Carbon Steels in Iron-Carbon Melts[J]. Metallurgical Transactions, 1972, 3(11):2825-2833.
- [3] Wright J K. Steel Dissolution in Quiescent and Gas Stirred Fe/C Melts[J]. Metallurgical Transactions B, 1989, 28:363-372.
- [4] 奥斯特 F. 钢冶金学[M]. 倪瑞明, 张弼, 译. 北京:冶金工业出版社, 1997:462-479.
- [5] 佩克尔 R D 著. 氧气顶吹转炉炼钢[M]. 上册. 邵象华, 楼盛赫, 译. 北京:冶金工业出版社, 1980:331.
- [6] 杨文远, 刘志昌. 转炉二次燃烧氧枪的开发与应用[J]. 钢铁, 1994, 29(4):14-18.
- [7] 杨文远, 崔建, 蒋晓放, 等. 大型转炉吹炼过程中熔池温度状况的研究[J]. 钢铁研究学报, 2003, 15(4):5-9.

张彦恒(1983-),男,硕士(昆明理工大学),工程师,2005年北京科技大学(本科)毕业,炼钢工艺研究。

E-mail:42836620@qq.com

收稿日期:2018-04-03

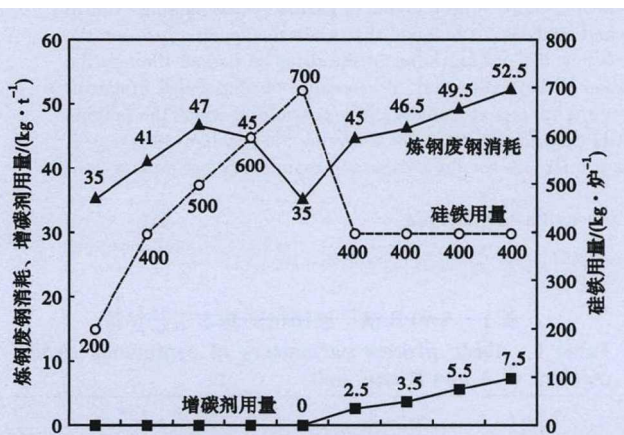


图2 转炉炼钢废钢与硅铁、增碳剂的平衡图

Fig.2 Balance chart of scrap, ferrosilicon and carburizing in BOF

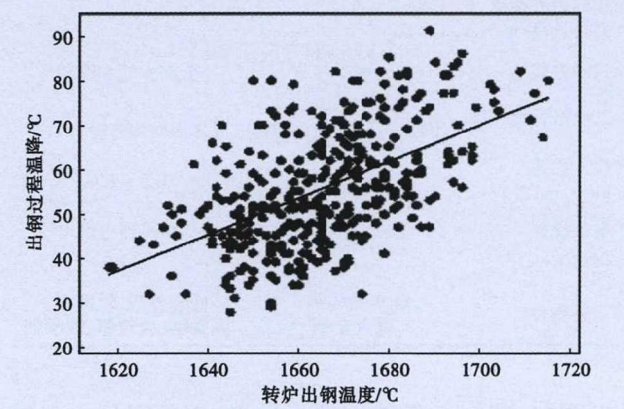


图3 典型钢种出钢温度与温降的关系

Fig.3 Relationship between liquid tapping temperature and temperature drop of typical steels