

安钢 100 t 竖式电弧炉高热装铁水比的工艺实践

朱 荣¹ 王新江² 牛重军^{1,2} 高 峰¹ 胡振邦²

(1 北京科技大学冶金与生态工程学院,北京 100083; 2 安阳钢铁公司第一轧钢厂,安阳 455004)

摘 要 分析研究了热装铁水比对 100 t 竖式电弧炉吨钢电耗、吨钢氧耗、冶炼周期和冶炼成本的影响以及对原材料、氧气供应、水冷条件、除尘能力等的要求。通过采用电弧炉炉壁 USTB 集束供氧技术,该电弧炉的供氧强度达到 1.6 m³/(t·min)。实践表明,该集束供氧技术能满足高热装铁水比冶炼的要求,在相同热装铁水比下,冶炼电耗降低 25 kWh/t,冶炼成本下降 100 元/t 以上。

关键词 100 t 竖式电弧炉 热装铁水 集束氧枪

Process Practice of High Hot Metal Charging Rate for an 100 t Finger Shaft Arc Furnace at Anyang Steel

Zhu Rong¹, Wang Xinjiang², Niu Chongjun^{1,2}, Gao Feng¹ and Hu Zhenbang²

(1 Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 No. 1 Rolling Mill, Anyang Iron and Steel Co Ltd, Anyang 455004)

Abstract The effect of hot metal charging rate on electric power and oxygen consumption per ton steel, tap to tap time and melting cost of an 100 t shaft arc furnace at Anyang Steel was analyzed and studied. The oxygen supply intensity for this arc furnace can reach up to 1.6 m³/(t·min) by using arc furnace wall USTB coherent oxygen supply technology. The practice effect indicated that the coherent oxygen supply technology could meet the requirement of high hot metal charging rate melting, and under equal hot metal charging rate condition the smelting electric power consumption could reduced by 25 kWh/t and the smelting cost could decreased by 100 yuan/t.

Material Index 100 t Shaft Arc Furnace, Hot Metal Charging, Coherent Jet Oxygen Lance

安阳钢铁公司(安钢)100 t 竖式电弧炉采用高热装铁水比冶炼,并对吹炼工艺进行分析研究,得出了高效供氧应具备的工艺条件及所能达到的冶炼效果。

1 现有工艺条件

根据表 1 数据,原电弧炉主辅设备的配置满足全废钢的冶炼条件,炉壁采用 5 支油氧助熔烧嘴,采用炉门碳氧枪完成化渣及脱碳任务。根据文献[1]报道:在仅有炉门实现吹氧脱碳操作条件下,安钢 100 t 竖式电弧炉的最佳铁水加入量为 30% 左右。提高铁水加入比例,供氧能力已经不能满足脱碳速

度的要求,使得冶炼时间延长,影响了生产节奏,造成钢产量下降。此外,采用铁水热装工艺后,电弧炉继续采用成本较高的油氧助熔工艺,已经不能适应安钢 100 t 电弧炉进一步降低冶炼成本的要求。

为实现高铁水比的冶炼条件,需提高电弧炉的供氧强度[m³/(t·min)],同时需根据电弧炉的炉型特点调整其供氧方式,并对影响提高供氧强度的电弧炉相关辅助系统进行完善。

2 提高电弧炉的供氧强度

由表 1 计算可得,现电弧炉的最大供氧强度为 0.8 m³/(t·min)。当铁水加入量在 30%,电弧炉原始配碳量在 1.3%~1.4%,纯脱碳时间 30 min 左右,冶炼周期可控制在 50 min 左右,原供氧强度基本能满足冶炼要求。如铁水加入量在 60% 左右,电弧炉原始配碳量将达到 2.6%~2.7%,在原供氧强度下,纯脱碳时间将达到 60 min 以上,冶炼时间将超过 80 min。要保证 50 min 的冶炼节奏,供氧强度需达到 1.6 m³/(t·min),即 100 t 电弧炉在装入量 125 t 时的供氧量应在 12 000 m³/h。根据表 1 所示,炉门氧枪的流量最大为 6 000 m³/h,原工艺条件明显不能满足冶炼要求。

表 1 竖式电弧炉设备工艺参数

Table 1 Equipment and process parameters of shaft arc furnace

项目	参数
公称容量/t	100
最大炉容量/t	125
变压器容量/MVA	72
电压/V	550~990
电压级数/级	1~12
电极直径/mm	610
氧油烧嘴/MW	5×3.0
炉门氧枪流量/(m ³ ·h ⁻¹)	3 000~6 000
碳粉流量/(kg·min ⁻¹)	5~50
年产量/万 t	80~85

2.1 电弧炉炉壁集束供氧技术

目前电弧炉采用的供氧工艺主要有炉门、炉壁及炉顶供氧方式^[2]。如何提高电弧炉供氧强度,多数企业采用炉壁供氧工艺。安阳钢铁公司采用了北京科技大学 USTB 炉壁集束供氧技术^[3-6]。

在 100 t 竖式电弧炉水冷炉壁上共安装了 4 支集束氧枪,其中 2 支安装在电弧炉的竖井下,取代原油氧助熔烧嘴,实现助熔、二次燃烧及脱碳功能,另 2 支主要起脱碳及二次燃烧作用。4 支集束氧枪的氧气流量根据铁水加入量比例,控制在 8 000 ~ 12 000 m³/h,最大供氧强度达到 1.6 m³/(t·min)。炉门碳氧枪在铁水加入量大于 30% 后停止操作,喷吹碳粉造泡沫渣在炉壁实现。

2.2 提高供氧强度的相关措施

2.2.1 供电与供氧的关系

采用模块化及分时段控制理念解决了提高供电及用氧效率问题^[6]。即根据电弧炉不同的炉料情况和冶炼特点,以物料平衡及热平衡为基础,将能量的不同输入方式进行模块化处理,其整个冶炼过程分为多个时段,确定供电及供氧曲线进行操作。

根据模型计算及操作经验,安钢 100 t 竖式电弧炉全废钢冶炼采用提高供电级别操作,热装铁水冶炼采用提高供氧强度操作。

2.2.2 对除尘的要求

目前安钢 100 t 竖式电弧炉的除尘采用竖井直排烟设计,排烟量为 1 × 10⁴ m³/h,屋顶罩 2 × 64 × 10⁴ m³/h(含 LF 烟气除尘)。如按 80% 铁水、最大脱碳速度 0.10 C/min 计算,考虑到竖井的抽气能力,炉内产生的烟气量为 4.67 m³/h,如按高温 1 400 °C

的烟气计算,烟气量达到 22 × 10⁴ m³/h 以上。

采用竖井直排烟的除尘能力(1 × 10⁴ m³/h),竖井烟气除尘能力已不能满足新工艺。

现考虑多余 12 × 10⁴ m³/h 烟气估计(80% 铁水,脱碳速度 0.10 C/min),高温卷吸周围空气按 5 倍计算,总气量估计在 60 × 10⁴ m³/h。现厂房有 2 × 64 × 10⁴ m³/h 的除尘能力,基本满足要求。

2.2.3 原料情况

安钢 100 t 电弧炉铁水的供应不稳定,铁水加入比例从 0 ~ 60% 变化,给电弧炉强化用氧带来了难度。系统软件经过热平衡计算确定不同铁水比例下的供氧强度值[从 0.8 ~ 1.4 m³/(t·min) 变化],并通过实际生产数据进行修正,最终确定供电级别及各个位置的氧枪氧气流量及压力。

2.2.4 氧气、水冷和废钢条件

1 座 100 t 的电弧炉持续供氧能力应保持在 12 000 m³/h 以上;制氧站氧气输送压力应控制在 1.6 MPa 以上,以保证冶炼节奏的需要。

现有冷却水压力(0.6 MPa)及流量(100 m³/h)能满足氧枪的水冷要求。

100 t 电弧炉采用高热装铁水比后,入炉废钢中轻薄料的比例达到 90% 以上,加速了废钢熔化。

3 高热装铁水比的试验结果及分析

3.1 热装铁水比对吨钢电耗和氧耗的影响

由图 1(a) 可知,在使用 USTB 集束供氧技术后,吨钢电耗比改造前平均低了 25 kWh。这说明使用 USTB 集束供氧系统后,随着供氧强度的提高,氧气传输已不是高铁水比冶炼下的制约环节。

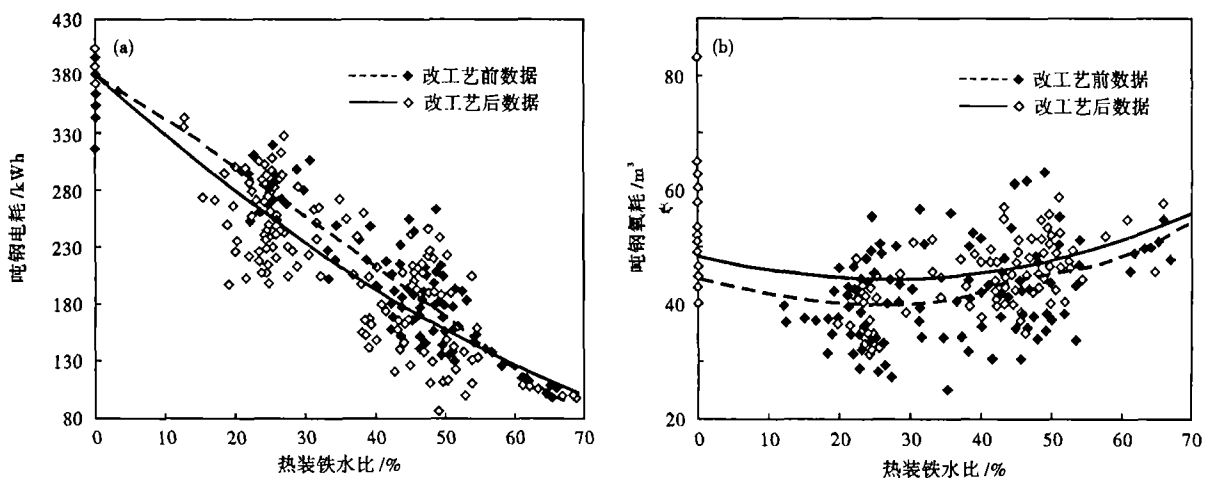


图 1 使用 USTB 前后热装铁水比对 100 t 竖式电弧炉吨钢电耗(a)和吨钢氧耗(b)的影响,300 炉

Fig. 1 Effect of hot metal charging rate of 100 t sheft arc furnace on electric power consumption (a) and oxygen consumption (b) per ton steel before and after using USTB technology, 300 heats

由图 1(b)可以看出,与全废钢相比,随着热装铁水比增加至 30%,吨钢氧耗下降。全废钢冶炼时,氧在炉中的行为较为复杂,在冶炼前期由于形成的熔池较小,氧气的利用率低;而兑入铁水后,加上炉内原有的留钢、留渣为炉内提前吹氧创造了条件,氧气的利用率提高,泡沫渣形成较早,废钢熔化加快。因此,当铁水加入比例小于 30%时,随着热装铁水比的增加,吨钢氧耗不升反降,这是加铁水促使泡沫渣形成、氧的利用率提高所产生的结果。

但当热装铁水比超过 30%时,氧耗开始上升。其原因在于铁水量增加后,钢中碳含量增加,供氧强度成为限制因素,提高供氧强度将加速脱碳反应的进行。由图 1(b)可知,使用 USTB 集束供氧系统后,吨钢氧耗有提高。考虑到电耗等指标,采用化学能置换电能从降低成本考虑是可取的。

3.2 热装铁水比与冶炼周期的关系

采用 USTB 集束吹氧工艺后,电弧炉冶炼周期不随热装铁水比而变化(图 2)。这主要是采用集束供氧工艺后,通过调整供氧强度,控制电弧炉的冶炼周期,满足整个流程的需要。

3.3 铁水加入量与冶炼成本的关系

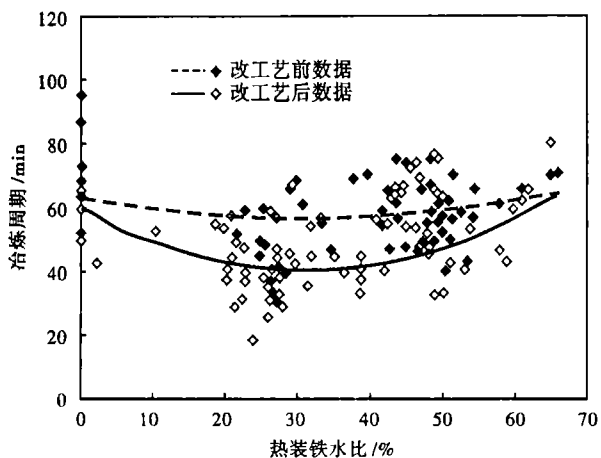


图 2 使用 USTB 前后热装铁水比对 100 t 竖式电弧炉冶炼周期的影响

Fig.2 Effect of hot metal charging rate of 100 t shaft arc furnace on tap to tap time before and after using USTB technology

安钢 100 t 竖式电弧炉在使用 USTB 集束供氧技术后,吨钢综合成本下降 100 元以上(图 3)。主要由以下因素构成:

(1)铁水带来的热量使电耗下降,根据热平衡,每增加 10%铁水,吨钢电耗下降 40~50 kWh。

(2)金属收得率提高,在电弧炉炉壁四周布置集束氧枪,强化了熔池搅拌,炉内 C-O 反应趋于平

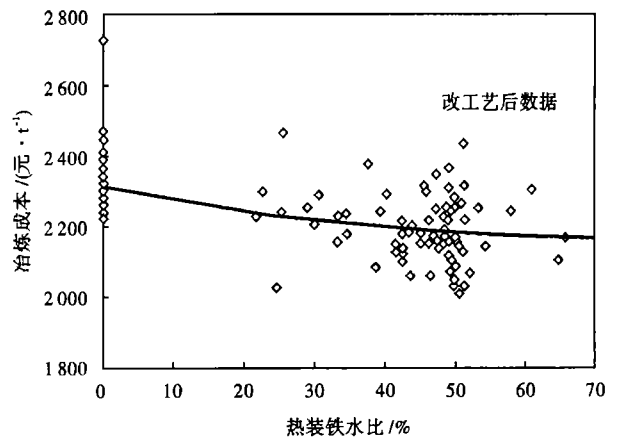


图 3 使用 USTB 后热装铁水比对 100 t 竖式电弧炉冶炼成本的影响

Fig.3 Effect of hot metal charging rate of 100 t shaft arc furnace on smelting cost after using USTB technology

衡,钢水的过氧化程度下降。加之采用在炉壁造泡沫渣的新工艺,渣中氧化铁下降。根据安钢 100 t 电弧炉的现场数据统计,通过近半年的跟踪,钢铁料消耗下降 20 kg。

(3)原竖式电弧炉在竖井下采用油氧助熔,现取消了该工艺,吨钢节油 5 L。

4 结论

(1)采用电弧炉炉壁 USTB 集束供氧技术,可使安钢 100 t 电弧炉的供氧强度达到 1.6 m³/(t·min),满足了高铁水比对冶炼节奏的要求。

(2)通过集束供氧技术在安钢 100 t 电弧炉的实践证明,采用该技术能满足高铁水比冶炼的要求,相同铁水比下的冶炼电耗下降 25 kWh/t,吨钢冶炼成本下降 100 元以上。

参考文献

- 1 张殿军,靳秀礼,刘 栋,等.100 t 竖式电弧炉兑铁水工艺.特殊钢,2001,22(6):39
- 2 Andreas Metzen, Gerhard Bünemann, Johannes Greinacher, et al. Oxygen Technology for Highly Efficient Electric Arc Steelmaking. MPT International, 2000(4):84
- 3 Jorge Ortega, John Vasquez. Implementation and Operation Results with Cojet™ Gas Injection System at SIDOR with DRI Charging. 2001 Electric Furnace Conference Proceedings:703
- 4 李桂海,朱 荣,仇水全,等.电弧炉炼钢集束射流氧枪的射流特征.特殊钢,2002,23(1):11
- 5 张 贵,朱 荣,韩丽辉,等.70 t 电弧炉炼钢集束射流氧枪流场的数值模拟及应用.特殊钢,2006,27(5):46
- 6 朱 荣.电弧炉炼钢用氧模块化控制理论及工业应用.钢铁,2003(10):16

朱 荣(1962-),男,教授,博士生导师,冶金工艺和节能。