

转炉工艺条件优化对提高废钢比影响分析

张 胤, 刁望才, 韩春鹏, 云 霞

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 根据转炉冶炼工艺情况, 运用热平衡计算方法对转炉热平衡进行计算, 计算不同入炉铁水条件、生产工艺及温度控制对提高废钢加入量的影响。通过分析影响转炉废钢比变化的因素, 研究废钢比与转炉冶炼工艺条件之间的关系, 提出转炉提高废钢比的具体措施, 供相关炼钢厂参考。

关键词: 转炉炼钢; 铁钢比; 废钢比; 热平衡

中图分类号: TF713

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2022)03-0027-04

Analysis on Influences of Optimizing Process Conditions for Basic Oxygen Furnace on Improving Scrap Ratio

Zhang Yin, Diao Wang - cai, Han Chun - peng, Yun Xia

(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: According to the smelting process of converter, the heat balance of converter is calculated with the heat balance calculation method. The influences of different molten iron conditions, production processes and temperature control on improving the addition of scrap steel are calculated. The specific measures for improving the scrap ratio of basic oxygen furnace(BOF) are put forward by analyzing the factors affecting change of scrap ratio of BOF as well as studying the relations between scrap ratio and smelting process conditions of BOF, which are as references for relevant steelmaking plants.

Key words: BOF steelmaking; iron - steel ratio; scrap ratio; heat balance

废钢铁作为唯一可以逐步替代铁矿石的优质炼钢原料, 具有载能、低碳、可再生三大优势, 按行业平均水平测算, 每多用 1 t 废钢, 可少用 1.7 t 精矿粉, 减少 4.3 t 原生铁矿石的开采^[1]。由此可见, 提高转炉炼钢废钢比对降低炼钢能耗意义深远。本文从转炉热平衡角度, 着重计算分析了原料、工艺条件变化对提高废钢比的影响, 阐述了转炉炼钢过程中优化入炉铁水成分、温度条件、改变造渣制度、降低出钢温度有利于提高废钢比, 并且能够降低转炉能耗,

提高综合效益。

1 影响铁钢比的因素

在炼钢生产中废钢作为重要原料, 使用过程限制性因素有很多, 包括炼钢过程热平衡、产品质量、装备条件和工艺水平。热平衡取决于铁水成分、出钢温度、冶炼过程冷却剂的用量、冶炼钢种和生产工艺。

1.1 铁水条件

铁水中的 C、Si、Mn 元素以及供转炉冶炼铁水

温度对转炉冶炼产生很大的影响。

(1) 铁水 Si 含量对废钢加入量的影响。随着铁水 Si 含量的提高,废钢理论加入量随之增加,但当铁水 Si 含量大于 0.5% 时,废钢理论加入量的增加趋势逐渐减缓。随着铁水 Si 含量的增加,辅料加入量也相应增加,新增加的辅料会吸收一部分 Si 的氧化热,导致废钢加入量的增加趋势变缓。

(2) 铁水 C 含量对废钢加入量的影响。随铁水 C 含量提高,废钢理论加入量逐渐增加,且增加趋势保持不变。铁水 C 含量每增加 0.1%,废钢理论加入量平均增加 0.875 t/t。

(3) 铁水 Mn 含量对废钢加入量的影响。随着铁水 Mn 含量的提高,废钢理论加入量逐渐增加,且增加趋势保持不变。铁水 Mn 含量每增加 0.1%,废钢理论加入量平均增加 0.37 t/t。

(4) 铁水温度对废钢加入量的影响。随着铁水温度的提高,废钢理论加入量呈线性增加。铁水温度每增加 10 ℃,废钢理论加入量平均增加 0.68 t/t。

(5) 单炉铁水装入量对废钢加入量的影响。随着单炉铁水装入量的提高,废钢理论加入量呈线性增加,但铁水成分不同,废钢的理论增加量也不同。相同铁水成分下,每增加 1 t 铁水,废钢加入量可提高 0.15 t。

1.2 废钢条件

提高废钢比关键是要增加转炉热源,有三种方式:

(1) 降低转炉热损失,提高热效率,如炉气二次燃烧;

(2) 熔池增碳,如 KMS 采用底吹氧喷煤粉进行热补偿;

(3) 废钢预热,多采用炉内废钢预热技术。

1.3 工艺条件

(1) 出钢温度对废钢加入量的影响。随着出钢温度的提高,废钢理论加入量呈线性下降。这是由于在其他条件一定的情况下,出钢温度越低,钢水带走的物理热越少,可供废钢熔化的热量也就越多,随着出钢温度的降低,废钢加入量随之增加。

(2) 留渣操作对废钢加入量的影响。随着留渣量的增加,废钢理论加入量逐渐下降。留渣会保留一定量的物理热,在转炉冶炼前期促进辅料的熔化,同时形成高碱度的前期渣,减少一定量的辅料加入。但是由于所留炉渣在上一炉出钢以及这一炉加废钢兑铁水过程中存在较大的温降,其温度远低于出钢

时终渣的温度,尽管少加了一部分辅料,但是所留的大量炉渣在吹炼过程继续升温所需的热量要高于少加的这部分辅料节约的热量,因而,从整体上来讲,留渣会带来一定程度的热量消耗,导致最终用来熔化废钢的热量减少,废钢理论加入量降低^[2]。

2 铁水条件热平衡计算

首先考虑转炉冶炼过程的热平衡,提高转炉炼钢冶炼过程的废钢比重,其本质是提高转炉冶炼过程中热量的支出^[3],如何能在废钢比提高的情况下正常生产,需要达到新的热平衡,增加热量收入,才不会影响出钢条件。

根据铁水各元素的平均含量及终点各元素的平均含量进行设定,以 100 kg 铁水为基础计算,结果见表 1。

表 1 铁水和钢水的成分计算设定值(质量分数) %

类别	C	Si	Mn	P	S
铁水	4.0	0.40	0.50	0.13	0.03
钢水	0.1	0.01	0.38	0.015	0.02

常见的热收入项主要包括 3 种,即铁水物理热、元素氧化热及成渣热,烟尘的氧化热也是一个关键因素。以铁水熔化温度 1 121.65 ℃、钢水熔化温度 1 525.07 ℃、钢水终点温度 1 632.07 ℃为条件进行热平衡及废钢比计算,结果见表 2、表 3、表 4。

表 2 热平衡计算入炉料温度 ℃

铁水	废钢	物料	炉渣	炉气	烟尘
1 280	25	25	1 580	1 450	1 450

表 3 热平衡计算各反应化学热 kJ

反应公式	反应热
[C] + [O] — CO	41 900.4
[C] + 2[O] — CO ₂	13 933.6
[Si] + 2[Si] — SiO ₂	11 680.8
[Mn] + [O] — MnO	791.28
[Fe] + [O] — FeO	2 401.25
2[Fe] + 3[O] — Fe ₂ O ₃	1 847.56
2[P] + 5[O] — P ₂ O ₅	2 467.4
(P ₂ O ₅) + 4(CaO) — 4CaO · P ₂ O ₅	1 551.84
(SiO ₂) + 2(CaO) — 2CaO · SiO ₂	1 982.88

表4 热平衡计算

热收入项计算		热支出项计算		kJ	
铁水物理热	117 875.96	钢水带走物理热	129 557.90		
元素氧化及渣热收入	78 557.01	炉渣物理热	19 519.69		
烟尘氧化热	5 870.67	炉气物理热	16 501.99		
炉衬中碳化学热	5 86.26	烟尘物理热	2 429.63		
		渣中含铁物理热	747.48		
		喷溅损失物理热	1 412.86		
		散料分解热	3 59.74		
		其他热损失	1 0144.5		
		废钢熔化热	22 216.11		
合计	202 889.90		202 889.90		

热平衡计算中,烟尘物质 FeO 占比按 50% 计算,熔池内碳反应产物 CO 占比按 90%、CO₂ 占比按 10% 计算,钢水过热度按 45 °C 计算,静置钢水温降按 12 °C/min 计算,出钢过程钢水温降按 50 °C/min 计算。

以上述热平衡计算结果,实际生产过程中,钢铁料消耗 1 080 kg/t 时,吨钢铁水废钢熔化重量为 157.55 kg,铁水比为 922.45 kg/t。

3 铁水对废钢比的影响因素

依据原料条件及热平衡计算,计算得出相同条件下不同铁水状况对废钢加入量的影响,见表 5。

表5 相同条件不同铁水状况对废钢加入量影响

铁水状况	废钢装入量增加/(kg·t ⁻¹)	措施	影响
铁水温度每增加 10 °C	5.3	一罐到底、铁包保温剂	铁包保温剂使用增加生产成本。
铁水 Si 含量每增加 0.1%	18	使用提温剂硅铁	入炉铁水 Si 含量大于 0.7% 时,冶炼难度增加,炉料结构变化易引起喷溅。
铁水 C 含量每增加 0.1%	10	使用提温剂、增碳剂	增碳剂使用量过多,易引起熔池碳氧反应不平衡,冶炼周期变长,终点钢水碳命中率降低。
单炉铁水装入量增加 1%	8	提高铁包出铁量	影响铁包净空,造成脱硫工序操作困难。

通过对比,在其他生产条件相同情况下铁水 Si 含量、C 含量对废钢加入量影响最大,铁水 Si 含量每增加 0.1%,可多加入废钢 18 kg/t;铁水 C 含量每增加 0.1%,可多加入废钢 10 kg/t。

过高的铁水 Si 含量与 C 含量也为冶炼带来一定不利影响。随入炉铁水 Si 含量增高,炉料结构变化易引起喷溅;随入炉铁水 C 含量增高,引起熔池 C-O 反应不平衡,冶炼周期变长,终点钢水 C 命中

率降低。

因此提高入炉铁水温度,控制合理的入炉铁水 Si 含量、C 含量及铁水装入量是从原料条件方面降低铁钢比的有效措施。

4 工艺制度对废钢加入量的影响

依据原料条件及热平衡计算,计算得出相同铁水条件下不同工艺制度对废钢加入量的影响,见表 6。

表6 相同铁水条件不同工艺制度对废钢加入量影响

工艺制度	废钢加入量增加/(kg·t ⁻¹)	措施	影响
终点温度每降低 10 °C	7.0	控制转炉终点温度	增加后续工序处理时间。
废钢温度每提高 100 °C	3.4	使用废钢预热设备	增加废钢熔化能耗及后续工序处理时间。

通过热平衡计算,在其他生产条件相同情况下,不同工艺制度对废钢加入量影响不同。控制终点温度,终点温度每降低 10 °C,可多加入废钢 7.0 kg/t;使用废钢预热设备,采用多渠道废钢加入,废钢温度每提高 100 °C,可多加入废钢 3.4 kg/t。

过低的终点温度会对后续工序带来不便,增加后续工序处理时间从而影响生产时序。废钢预热技术及多渠道废钢加入技术可有效降低铁钢比,但废钢加入量过多会增加熔化废钢能耗及后续工序处理时间。因此,控制合理终点温度以及制定合理的废

钢加入量是从工艺制度方面降低铁钢比的有效措施^[4]。

5 原料条件成本效益计算

在现有废钢铁水价格情况下,以 1 080 kg/t 钢铁料消耗为基础,测算铁水消耗变化与单位成本变化,如图 1 所示。

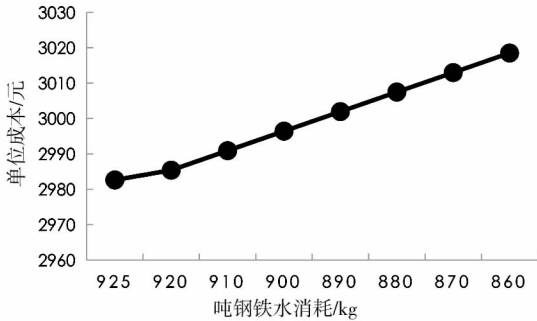


图 1 不同铁水消耗单位成本变化趋势

随铁水消耗逐步降低,单位制造成本随之升高,这是因为随铁水消耗降低,铁钢比降低,废钢比增加,废钢价格对单位成本影响逐步增加。

在现有废钢铁水价格情况下,以 1 080 kg/t 钢铁料消耗为基础,测算铁水消耗变化与单位效益变化,如图 2 所示。

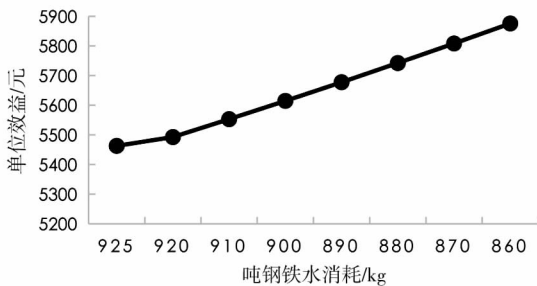


图 2 不同铁水消耗单位效益变化趋势

随铁水消耗不断降低,单位效益逐渐增加。铁水消耗降至 860 kg/t 时,在现阶段废钢铁水价格情况下,单位效益达到 5 875.83 元。

在现有废钢铁水价格情况下,以 1 080 kg/t 钢铁料消耗为基础,测算铁水消耗变化与吨钢效益变化,如图 3 所示。

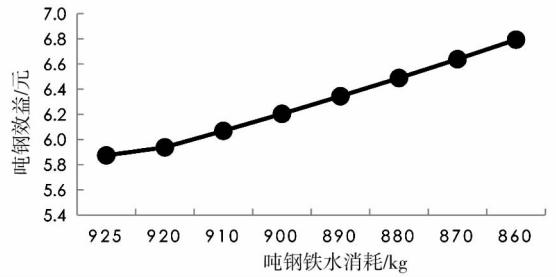


图 3 不同铁水消耗吨钢效益变化趋势

随吨钢铁水消耗降低,吨钢效益随之增加,降低至 890 kg/t 时,吨钢效益 6.34 元;降低至 860 kg/t 时,吨钢效益 6.79 元。

6 结论

(1) 依据现阶段铁水废钢原料价格计算,随铁水消耗降低,吨钢效益逐渐升高。降低至 890 kg/t 时,吨钢效益增加 6.34 元;降低至 860 kg/t 时,吨钢效益增加 6.79 元。

(2) 相同条件下铁水温度每增加 10 ℃,可多加入废钢 5.3 kg/t;铁水 Si 含量每增加 0.1%,可多加入废钢 18 kg/t;铁水 C 含量每增加 0.1%,可多加入废钢 10 kg/t;单炉铁水装入量增加 1%,可多加入废钢 8 kg/t;终点温度每降低 10 ℃,可多加入废钢 7 kg/t。

(3) 利用废钢预热工艺,废钢温度每提高 100 ℃,可多加入废钢 3.4 kg/t。

(4) 过高的铁水 Si 含量和 C 含量为冶炼带来一定不利影响。随入炉铁水 Si 含量增高,炉料结构变化易引起喷溅;随入炉铁水 C 含量增高,引起熔池碳氧反应不平衡,冶炼周期变长,终点钢水碳命中率降低。

参 考 文 献

- [1] 安君辉,王玉生,赵广勋. 提高废钢比降低转炉铁水消耗[J]. 河北冶金,2009,(6):33-35.
- [2] 肖龙鑫,李晶,闫威,等. 合理的转炉废钢比探析[J]. 有色金属科学与工程,2019,(10):46-53.
- [3] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2002.
- [4] 李经哲,马德刚,王建兴,等. 高废钢比例对炼钢工艺的影响[J]. 河北冶金,2017,(7):67-69.