

转炉少渣炼钢自动化控制技术研究与应用

贾宇璇*, 郭朝军, 王玉刚

河钢集团邯钢公司, 邯郸 056015

Research and application of automatic Control Technology of “SGRS”

Process in Converter

Jia Yuxuan*, Guo Chaojun, Wang Yugang

HBIS Group Han Steel Company, Handan, Hebei 056015, China

1. 前言

少渣炼钢是炼钢行业在转炉传统生产工艺的创新, 相比传统炼钢工艺, 少渣炼钢充分利用转炉高碱度终渣在吹炼前期的低温条件下重新恢复脱磷能力的原理, 对终渣进行重复利用, 并通过吹炼前期倒渣, 进行二次造渣操作来降低原料消耗, 在降低转炉渣料消耗的同时最大限度地提高脱磷效率^[1-3]。在常规炼钢条件下, 转炉采用自动化炼钢可以实现炼钢操作标准化、提高终点命中率、降低消耗和人工劳动强度、提供劳动生产率, 且根据转炉目标终点条件, 依据热平衡、氧平衡、渣平衡、铁平衡进行二级计算, 得出合理的装入制度、吹炼制度、加料制度、从而实现炼钢过程的自动化控制。但采用少渣炼钢新工艺后, 原有的自动化炼钢模型计算中因为没有考虑前期倒渣量、吹炼终点留渣量、炉渣组分等因素的影响, 没有对前期控制目标进行计算, 所以, 原自动化炼钢模型中既有的热平衡、氧平衡的数值已不再适用, 模型计算与实际冶炼过程偏差较大, 转炉采用少渣冶炼工艺后继续使用原有自动化炼钢模型时, 终点碳、温度命中率非常低, 且模型自身反馈数值紊乱, 自学习功能基本丧失, 采用少渣冶炼工艺后无法实现自动化炼钢。因此, 本文针对少渣冶炼与常规冶炼工艺区别, 通过自主开发研究, 计算少渣冶炼下热氧平衡, 建立留渣倒渣控制模型, 实现少渣冶炼条件下转炉炼钢自动化控制, 并根据实际应用中存在的问题对模型进行优化, 提升少渣冶炼自动化炼钢终点命中率。

2. 转炉少渣炼钢工艺介绍

2.1. 转炉少渣炼钢工艺

转炉少渣炼钢工艺(SGRS)是在常规单渣法冶炼的基础上、结合双渣法工艺, 开发形成的一种新工艺, 它的目的是实现转炉低消耗、高效脱 P 的冶炼效果。具体工艺为: 将转炉吹炼过程分为两个阶段: 第一阶段: 脱硅脱磷, 脱磷结束后进行前期倒渣, 将部分富磷渣倒出炉外。第二阶段: 倒完前期渣后, 重新加入原辅料造渣, 脱碳升温, 吹炼终点保留脱碳渣, 实现炉渣的热回收用于下一炉脱磷^[4-5]。

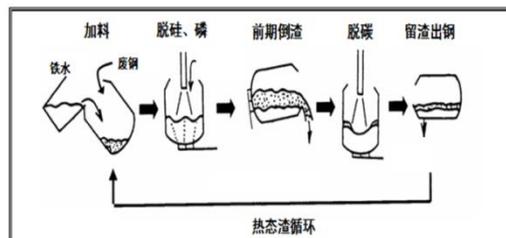


图 1 转炉少渣炼钢工艺流程图

Fig. 1 The flow chart of SGRS process in converter

2.2. 少渣炼钢自动化控制存在的问题

相比常规炼钢工艺，少渣炼钢是通过前期倒渣、提高脱磷效率，降低冶炼过程的石灰、轻烧白云石消耗，从而降低生产成本。在炼钢自动化控制方面，常规炼钢工艺下的二级自动计算模型是基于入炉原料和终点目标要求而建立热氧平衡，进而计算吹炼耗氧量和原料加入量，在有副枪测量的情况下，分为主吹和二次吹炼两个阶段，综合统称为动静态控制模型。常规炼钢下，该动静态模型自动化炼钢终点命中率在 90% 左右。在采用少渣冶炼后，由于增加了终渣留渣和前期倒渣，而原自动化炼钢模型中未考虑终渣渣量和倒前期渣渣量对入炉原料变化的影响，且倒前期渣会引起钢水温度的损失^[6]，也进一步增大了模型计算的偏差。

3. 少渣炼钢自动化控制模型建立及优化

3.1. 少渣炼钢自动化控制模型创建

针对少渣冶炼在使用原有自动化控制模型中存在的问题，针对少渣冶炼特点，围绕终渣留渣量，前期倒渣等关键工艺进行热氧平衡、目标碱度、炉渣组分等计算，并纳入二级自动控制模型，实现少渣冶炼条件下的自动化炼钢控制。具体模型优化如下：

(1) 建立倒渣和留渣计算模型。倒渣模型的建立：在原来的自动化炼钢模型基础之上增加前期渣的热、氧平衡计算，添加前期目标碱度，将根据现场冶炼数据和实验室模拟，得出倒前期渣的最佳时间区间加入到模型的前期吹炼控制中，模型将根据铁水不同成份计算不同的吹炼时间。

表 1 倒渣时间与铁水成分对应表

Table 1 Chemical composition of S53 experimental steels (mass fraction, %)

项目	方案 1	方案 2	方案 3
铁水硅含量 (%)	0-0.25	0.25-0.35	≥0.35
倒渣时间 (S)	250-280	280-310	310-340

留渣模型的建立：在渣车上增加渣重称量装置，采集前期、终点倒渣的重量，并将该数据通过一级传递至模型，对模型在原来的渣量计算进行重新修订，修订后的模型将考虑基于铁水渣量、成份、吹炼整个过程加料、前期倒渣重量、终点倒渣重量而计算最终合理留渣量。

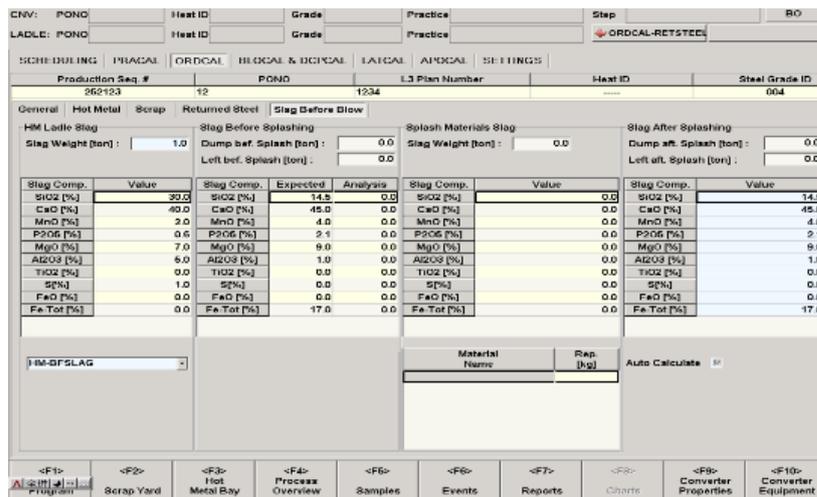


图 2 留渣模型建立

Fig. 2 The model of slag before main blow

(2) 炉渣组分及吹炼和加料控制模型：增加前期和终点渣样采集系统。在倒完前期渣和出完钢后分别取渣样，模型将采集渣样数据，并结合碱度设定、吹炼过程加料和两次渣样数据对下一炉倒前期渣、终渣渣样作出组份预测，为吹炼控制提供基础。为了保证计算的准确，从几个方面对模型进行了修改：①倒渣前的石灰加入量计算将基于倒渣时刻的目标碱度而定。②倒渣前的轻烧白云石加入量的计算将基于倒渣时刻要求的 MgO 含量而定。③石灰和轻烧白云石加入总量的计算将从铁水硅数和终渣留渣量两方面考虑。④倒渣前氧量的计算将基于铁水硅数、留渣量两方面的因素。⑤倒前期渣前的冷料计算将从实际入炉铁水、废钢、加料量，模型计算出的留渣量、终渣温度，预设的倒前期渣持续时间、倒渣量等方面考虑。

(3) 倒渣后自动吹炼控制模型：倒完前期渣后，炼钢所用物料的计算将基于倒前期渣前此物料的实际加入量，实际倒渣持续时间和实际的从一级系统收集的用称称出的倒渣量，根据留渣量信息、炉渣组分信息、入炉原料信息重新计算留渣情况下的热平衡、氧平衡数值。以此为基础，依据出钢目标要求计算炉次吹炼供氧目标和辅料、合金料投料目标预测值。

(4) 实现模型自学习功能：优化模型自学习功能，炉次吹炼实绩实时向二级模型进行反馈，通过模型功能模块对平衡项目与模型标准的实际值进行计算，并且更新下个炉次的平衡项目和模型标准，使预测值不断接近目标值，实现终点命中。

3.2. 收集数据，统计分析，完成静、动态模型的参数调整

自少渣冶炼条件下新模型采用以来，选取有代表性的大约 1000 炉冶炼数据，并对模型中热氧平衡、前期渣组分及留倒渣量等数据进行统计分析，并根据相关数据与终点命中率对应情况进行静、动态模型的部分参数调整，模型热平衡和氧平衡计算的准确度得到提高，少渣冶炼自动化控制条件下转炉终点碳温双命中率达到 92% 以上。模型相关参数调整如下：将倒渣时间与温降的对应关系按照如图 3 所示。

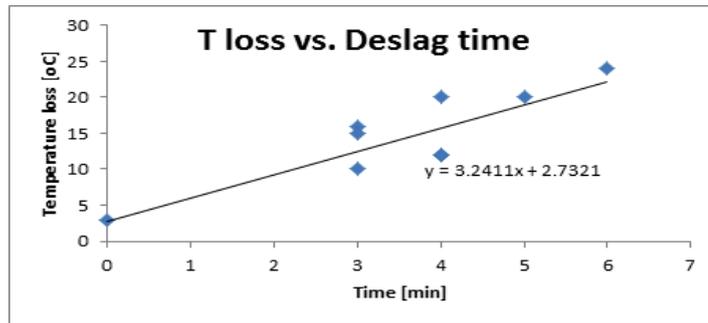


图 3 倒渣与温度损失对应关系

Fig. 3 The relation between the de-slag time and temperature loss

原来的加料、吹炼模型已不再适用新的工艺，需对加料和吹炼模式进行重新的设定和完善，以保证模型计算的准确性。

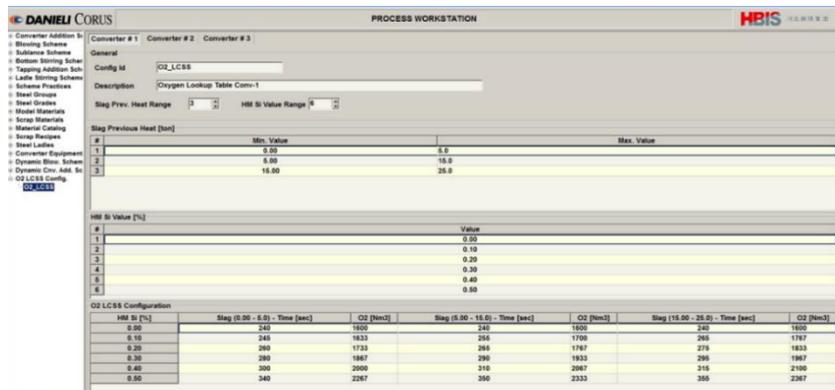


图 4 吹炼计划调整

Fig. 4 The optimization of blowing schedule

Addition Scheme Detail								
Scheme Id	CA_INBLOW							
Description	Converter additions scheme inbound							
Addition Scheme Data								
	TRIGGER	O2 START VOL [Nm3]	O2 CODE	TIME DIST [sec]	MATERIAL ID	MAT WEIGHT [kg]	WEIGHT CODE	FEED I [kg/m
1	O2 VOL REACHED	100	ABS	0	LIME	1500	MAX	0
2	O2 VOL REACHED	100	ABS	0	DOLomite	1000	MAX	0
3	O2 VOL REACHED	100	ABS	0	IRON ORE	1000	MAX	0
4	O2 VOL REACHED	100	ABS	0	ORE FINE	1000	MAX	0
5	O2 VOL REACHED	500	ABS	0	LIME	500	MAX	0
6	O2 VOL REACHED	1000	ABS	0	ORE FINE	500	MAX	0
7	O2 VOL REACHED	1000	ABS	0	IRON ORE	500	MAX	0
8	O2 VOL REACHED	1500	ABS	0	LIME	500	MAX	0
9	O2 VOL REACHED	2000	ABS	0	ORE FINE	500	MAX	0
10	O2 VOL REACHED	2000	ABS	0	IRON ORE	500	MAX	0
11	O2 VOL REACHED	2500	ABS	0	DOLomite	500	MAX	0
12	O2 VOL REACHED	3000	ABS	0	LIME	500	MAX	0

图 5 加料计划调整

Fig. 5 The optimization of addition schedule

4. 实施效果

针对少渣冶炼特定条件建立的自动化控制模型，在 120 吨顶底复吹转炉上实现了稳定化生产。模型根据自动采集的入炉原料条件，综合上一炉次的留渣重量、炉渣组分、本炉次前期目标碱度、目标温度和出钢目标值，计算本炉次前期加料量、供氧量，将指令发送到一级控制系统，实现自动吹炼；在前期吹炼完成后，模型根据收集到的前期实绩对二次吹炼参数进行动态控制，吹炼至临近终点由副枪系统对炉内钢水情况进行检测，根据检测结果进行动态控制，直至终点命中。实施效果如下表 2 所示：

表 2 少渣冶炼模型转炉终点命中情况

Table 1 The hitting rate of the end-point with SGRS process model

命中条件	检测样本数	命中炉数	命中率
C: $\pm 0.02\%$; 温度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$	2620	2426	92.6%

5. 结论

(1)在转炉采用少渣冶炼后，因为终渣留渣和前期倒渣工艺变化，原有自动化炼钢控制模型已无法实现准确计算和反馈。将终渣留渣量和前期倒渣量等相关信息纳入模型计算内容后，初步建立了少渣冶炼条件下的自动化控制模型。

(2)少渣冶炼自动化控制模型建立后，根据炼钢冶炼实绩对模型中的加料和吹炼模式进行优化和调整，基于新的热氧平衡计算和分配吹炼和加料控制计划，促进终点命中率稳步提升。

参考文献

- [1] 贾崇雪. 120 吨转炉“少渣炼钢”工艺的研究与应用[J]. 甘肃冶金, 2014 (6) :60-61.
- [2] 赵素华. 少渣炼钢工艺的进步与展望[J]. 鞍钢技术, 2008 (6) :13-16.
- [3] 张英嘉. 酒钢 120 转炉双渣法少渣炼钢工艺[J].河南冶金, 2018 (6) :53-56.
- [4] 小川雄司, 転炉を用いた脱りん脱炭連続処理プロセスの開発, 鉄と鋼, 87(2001), p21-28.
- [5] Y. Ueshima and K. Saito, Recent Advances and Topics of Iron & Steel and Steel-making Technology in Japan, The 12th Japan-China Symposium on Science and Technology of Iron and Steel, Oct.17-19, 2010, Nagoya, p11-18.
- [6] 张界伟. 转炉自动化控制系统的设计与实现. [D]. 大连: 大连理工大学, 2005.