

DOI: 10.13228/j.boyuan.issn0449-749x.20170326

首钢京唐钢厂“一罐到底”模式运行实践分析

石鑫越¹, 韩伟刚², 郇秀萍¹, 张春霞¹, 吴重远³, 魏志军³

(1. 钢铁研究总院先进钢铁材料及流程国家重点实验室, 北京 100081; 2. 华北理工大学冶金与能源学院, 河北 唐山 063210; 3. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司制造部, 河北 唐山 063200)

摘 要: “一罐到底”模式是目前铁钢区段中较为先进的运行模式, 与其他模式相比, 在占地面积、设备投资、人员配备、运行时间、铁水温降、粉尘排放等方面具有显著优势, 已经被钢铁企业接受并逐渐应用。对首钢京唐钢厂高炉-转炉区段“一罐到底”运行模式进行了系统研究, 重点对首钢京唐钢厂铁钢区段的运行时间和铁水罐周转时间进行解析, 并对铁水罐重罐和空罐的温降进行解析。在此基础上, 提出铁水罐周转过程动态运行规则, 并在首钢京唐钢厂取得了显著效果。

关键词: 一罐到底; 铁水罐周转; 解析; 运行实践

文献标志码: A **文章编号:** 0449-749X(2018)02-0097-06

“One Ladle Technology” operation practice analysis in Shougang Jingtang

SHI Xin-yue¹, HAN Wei-gang², LI Xiu-ping¹, ZHANG Chun-xia¹,
WU Chong-yuan³, WEI Zhi-jun³

(1. State Key Laboratory of Advanced Steel Processing and Products, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China; 2. College of Metallurgy and Energy, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, Hebei, China; 3. Manufacture Sector, Shougang Jingtang United Iron and Steel Co., Ltd., Tangshan 063200, Hebei, China)

Abstract: “One Ladle Technology” mode is more advanced operation mode in BF-BOF section. OLT, which has a significant advantage in area occupying, equipment investment, staffing and operation time, temperature drop of hot metal and dust emission compared with other models, has been gradually accepted and applied in steel production enterprises. Based on the case study of BF and BOF section “One Ladle Technology” in Shougang Jingtang, operation mode in time and HML turnover time, temperature drop of full HML and empty HML are analyzed. Based on the results, the dynamic operating rules for HML turnover are put forward which has achieved remarkable results in Shougang Jingtang.

Key words: One Ladle Technology; HML turnover; analysis; operation practice

所谓“界面”是相对于钢铁生产流程中烧结、炼铁、炼钢、连铸、热轧、冷轧等主体工序而言的, 指的是两相邻工序(或区段)之间的连接部分或过渡过程^[1]。对于炼铁-炼钢区段而言, 其“界面”是指存在于炼铁、炼钢这两个相对“刚性”工序间的一段相对“柔性”的“界面”, 它包含炼铁、炼钢工序之间多维物质流的衔接、传递、匹配和缓冲等过程, 还包含完成这些过程所耗费的时间、占有的空间, 及其所属工序、装置、容量、运输设备、路线、调度管理和控制程序等多方面内容。

目前, “一罐到底”模式作为铁钢区段较先进的模式, 已得到企业的认可^[2-6]。“一罐到底”技术是指高炉承接铁水的铁水罐和转炉铁水罐为同一罐, 铁

水罐从高炉出铁场接出铁水后, 直接运到炼钢车间, 经过相应处理后, 直接将铁水兑入转炉, 从而省略了混铁炉或专门用于向转炉兑铁水的铁水包。它具有缩短工艺流程、降低铁水温降、促进物流优化和节能减排等优点。目前, 国内部分企业采用“一罐到底”模式, 取得了不错的节能效果^[7-13]。

1 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段主要工序装置

首钢京唐钢厂炼铁-炼钢区段设有2座5 500 m³高炉、4座KR脱硫站、2座300 t脱磷转炉、3座300 t脱碳转炉。每个高炉有4个出铁口, 每个铁口下面有2条铁路线, 共16条铁路线; 脱硫站布置在炼钢车间

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFB0601300)

作者简介: 石鑫越(1986—), 男, 博士生;

E-mail: cavalier2008@126.com;

收稿日期: 2017-06-22

脱磷转炉兑铁跨。

铁水运输采用 300 t 铁水罐, 铁水装入量为 300 t, 在炼钢厂内, 有 3 条铁路线进入炼钢车间, 分别为钢 1 线、钢 2 线和钢 3 线, 铁路线与炼钢车间平行, 其中钢 1 线和钢 2 线位于脱磷转炉兑铁跨, 用

于铁水重罐运入和脱磷转炉兑铁后铁水罐空包运出, 钢 3 线位于脱碳转炉兑铁跨, 主要用于脱碳转炉兑铁后的铁水包空包运出。铁钢界面平面布置图如图 1 所示, 高炉-转炉区段“一罐到底”工艺流程如图 2 所示。

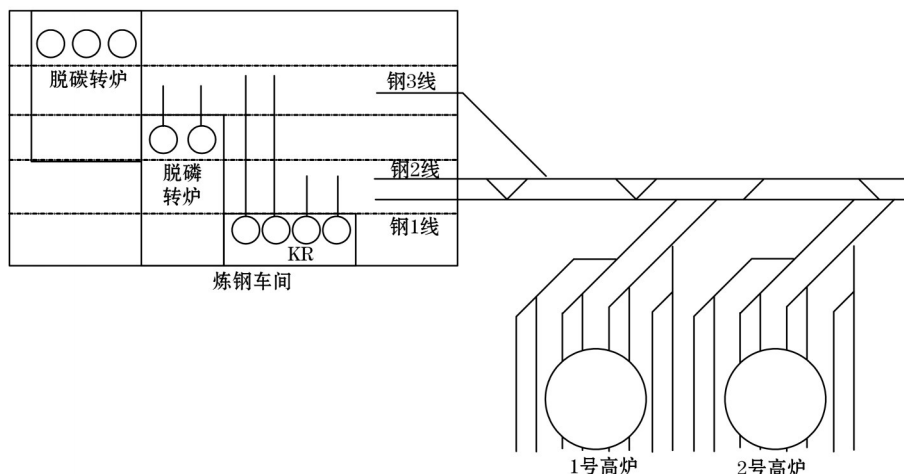


图 1 首钢京唐钢厂 $2 \times 5\,500\text{ m}^3$ 高炉- $3 \times 300\text{ t}$ 转炉区段平面布置示意图

Fig. 1 Plane layout diagram of BF-BOF section in Shougang Jingtang

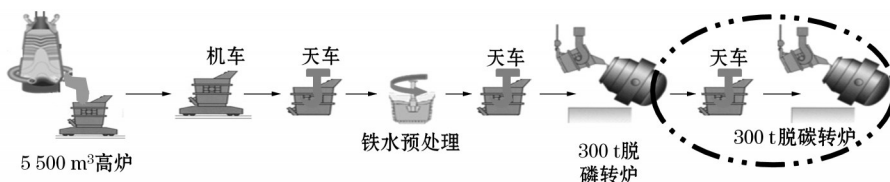


图 2 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段“一罐到底”工艺流程

Fig. 2 “One Ladle Technology” process in Shougang Jingtang BF-BOF section

2 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段“一罐到底”模式解析

2.1 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段网络节点分析

首钢京唐钢厂高炉-转炉区段“一罐到底”界面模式静态网络结构如图 3 所示。

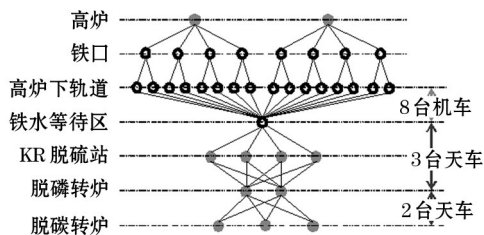


图 3 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段“一罐到底”界面模式

Fig. 3 “One Ladle Technology” interface mode in Shougang Jingtang BF-BOF section

由图 3 可知, 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段“一罐到底”界面模式具有以下特点: (1) 网络节点数 36 个; (2) 高炉、KR、脱磷转炉是“2-4-2”结构; (3) 高

炉、铁口、炉下轨道是“2-8-16”结构; (4) KR 布置在炼钢车间内, 铁水等待区位于 KR 之后; (5) 高炉-转炉中间距离 910 m, 铁水罐运距为 981~1 680 m; (6) 铁水采用“机车+天车”运输。

一般来说, 高炉座数越多, 高炉铁口和炉下铁路线数量越多, 连接高炉-转炉区段各个节点之间的连接线也越多, 因而高炉-转炉区段的静态网络结构也越复杂。每增加一座高炉, 相应的铁口和炉下铁路线等节点的数量也会增加, 进而增加各个节点之间的连接, 使静态结构复杂性呈现非线性增加。目前首钢京唐钢厂 $5\,500\text{ m}^3$ 高炉铁口数量为 4 个, 对应 8 条炉下铁路线, 由于高炉出铁采用的是对角出铁的方式, 因此实际生产中, 一般只用到 2 个铁口和 4 条铁路线。铁口和炉下铁路线越多, 则固定投资越高, 维护量越大, 利用率越低。因此, 对于钢厂而言, 在满足生产要求的前提下, 应尽量减少高炉座数、铁口数量和炉下铁路线的数量, 这对于简化高炉-转炉区段静态网络结构有着积极意义。

首钢京唐钢厂 KR 脱硫站布置在炼钢厂内,高炉到炼钢车间采用机车运输方式,生产过程中高炉两侧铁口对应的铁路线上的铁水罐通过机车调度十分不便,每座高炉至少需要 3 台机车才能保证高炉下的铁水罐及时送往炼钢厂。相比而言,重钢新区 KR 脱硫站布置在炼铁厂内,高炉和 KR 脱硫站之间通过天车运输,正常生产时高路两侧铁口下的铁水罐通过天车调度灵活,1 台天车基本可以满足 1 座

高炉需求^[10]。因此,当高炉座数较多时,KR 脱硫站布置在炼铁厂内,并且铁水罐运输采用天车运输方式,有利于减少设备数量,从而简化高炉-转炉区段静态网络结构。

2.2 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段时间解析

高炉-转炉区段铁水罐周转过程分为重罐过程和空罐过程两个不同的运行阶段,每个阶段又由不同的事件组成,周转过程的事件解析如图 4 所示。

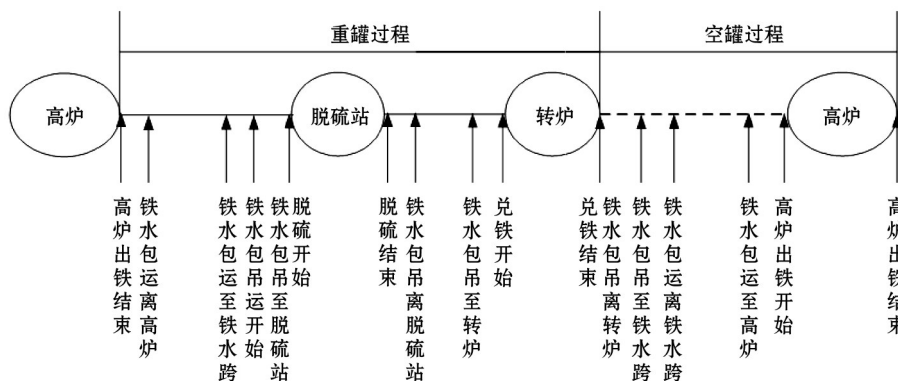


图 4 炼铁-炼钢界面铁水罐周转过程事件解析

Fig. 4 Analysis of HML turnover process events in BF-BOF section

2.2.1 高炉-转炉区段工序运行时间

根据界面周转过程事件解析图,对首钢京唐钢厂高炉-转炉区段各工序时间进行统计,得出首钢京唐钢厂高炉-转炉区段铁水运行 Gantt 图,如图 5 所示。

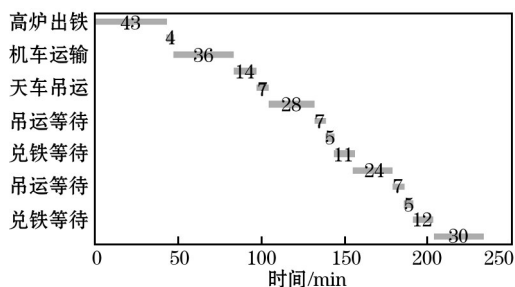


图 5 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段运行 Gantt 图

Fig. 5 BF-BOF section run Gantt chart in Shougang Jingtang

首钢京唐钢厂高炉-转炉区段总运行时间为 233 min,其中,等待时间为 55 min,运输时间为 53 min,作业时间为 125 min,三者分别占高炉转炉区段运行总时间的 24%、23%和 53%。与其他典型钢铁厂相比,高炉-转炉区段运行总时间相对较长,沙钢、重钢高炉-转炉区段运行时间 Gantt 图分别如图 6 和图 7 所示。

高炉有效容积越大,出铁流速越快,高炉出铁时间越短,因此首钢京唐钢铁出铁时间比沙钢长,但

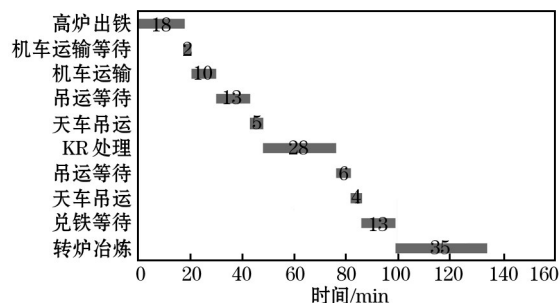


图 6 沙钢高炉-转炉区段运行 Gantt 图

Fig. 6 BF-BOF section run Gantt chart in Sha Steel

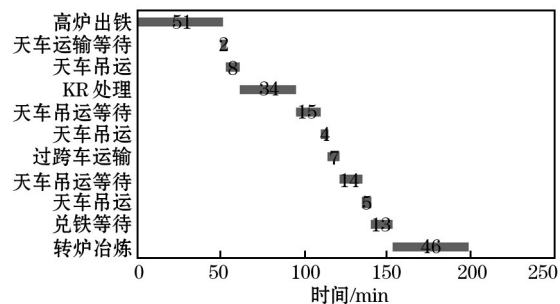


图 7 重钢高炉-转炉区段运行 Gantt 图

Fig. 7 BF-BOF section run Gantt chart in Chongqing Steel

是由于首钢京唐钢厂采用 300 t 转炉,需要 300 t 铁水罐来运输,会增加出铁时间,因此出铁时间与重钢相差不大,达到了 43 min;铁水罐容量大,也会影

响铁水预处理的时间,因此首钢京唐钢厂KR处理的时间较长,达到了30 min;此外,由于京唐钢厂采用转炉双联冶炼工艺,铁水脱磷和脱碳分开进行,因此转炉冶炼时间为30 min,用时较短。首钢京唐、沙钢、重钢高炉-转炉区段总运行时间分别为233、134、199 min,其中首钢京唐钢厂运行时间最长,这与其所采用的工艺有关,铁水脱磷、脱碳分开进行,因此吊运、等待环节多,从而延长了总时间。

2.2.2 高炉-转炉区段铁水罐周转时间

对首钢京唐钢厂高炉-转炉区段铁水周转过程的重罐时间、空罐时间、周转时间进行统计,结果分别如图8~图10所示。

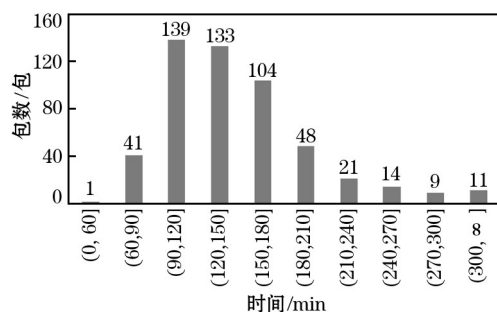


图8 铁水罐重罐时间分布

Fig. 8 Full HML time distribution

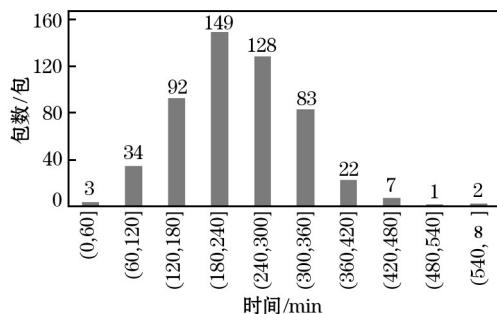


图9 铁水罐空罐时间分布

Fig. 9 Empty HML time distribution

由图8~图10可以看出:(1)首钢京唐钢厂高炉-转炉区段铁水罐重罐时间波动范围为58~331 min,其中主要分布在90~180 min,占总样本量的73%,

平均重罐时间为147 min;(2)首钢京唐钢厂高炉-转炉区段铁水罐空罐时间波动范围为41~735 min,主要集中在120~360 min,占总样本量的88%,平均空罐时间为23 min;(3)首钢京唐钢厂高炉-转炉区段铁水罐周转时间波动范围为300~480 min,占总样本量的70%,平均重罐时间为385 min。典型钢厂铁水罐周转时间比较见表1。

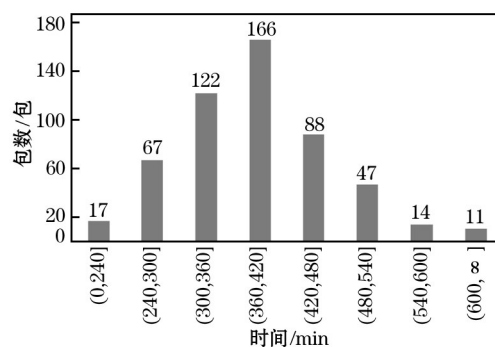


图10 铁水罐周转时间分布

Fig. 10 HML turnover time distribution

表1 典型钢厂高炉-转炉区段铁水罐周转时间比较

Table 1 Comparison of HML turnover time in BF-BOF section of typical plant min

项目	沙钢	重钢	首钢京唐
铁水罐重罐时间	70	147	147
铁水罐空罐时间	185	444	237
铁水罐周转时间	255	589	385

由表1可以看出,首钢京唐钢厂高炉-转炉区段铁水罐周转水平优于重钢铁水罐周转,但是与沙钢相比,重罐时间、空罐时间、周转时间均高于沙钢,因此还有较大的提升空间。

2.3 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段温度解析

2.3.1 高炉-转炉区段工序降温

对高炉出铁、KR进站、KR出站3个区段的铁水温度进行测量统计,得到四分位数、极差和均值等指标,结果见表2。

表2 各工序铁水温度统计指标

Table 2 Statistics of various process temperatures

工序	最小值	下四分位	中位值	上四分位	最大值	平均值
高炉出铁	1 460	1 488	1 496	1 503	1 520	1 495
KR进站	1 268	1 383	1 416	1 437	1 497	1 413
KR出站	1 244	1 351	1 383	1 401	1 450	1 383

从表2可知,首钢京唐钢厂高炉-转炉区段高炉出铁工序铁水温度波动范围较小,收敛性较好,出

铁结束后到达KR工序的铁水温度分布急剧发散,波动范围增大。

首钢京唐钢厂高炉-转炉区段铁水温降高达 132 ℃,其中高炉出铁到KR进站温降为 116 ℃,KR 处理时温降为 27 ℃。由此可见,高炉出铁-KR 进站过程是影响铁水温降的主要原因,占到总温降的 81%。

2.3.2 铁水罐受铁结束后罐内铁水温度的分布

对 2 号高炉 4 号铁口下的铁水罐满罐进行测温,4 号铁口两次开口的时间间隔约为 3 h,平均可以出满 3 罐铁水,共测得 43 罐铁水,其中两次出满的尾罐 12 罐,一次出满的满罐 31 罐,测温结果如图 11 所示。

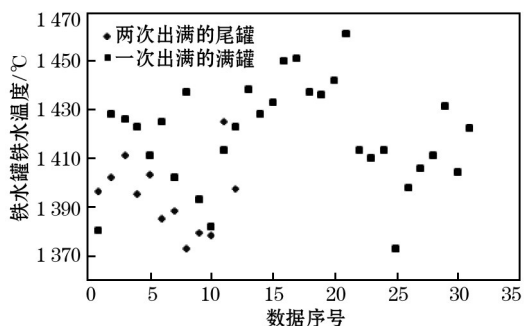


图 11 重罐温度分布

Fig. 11 Full HML temperature distribution

从图 11 可以看出:(1)两次出满的尾罐铁水温度较低,一般低于 1 400 ℃,测温过程中尾罐平均铁水温度为 1 394 ℃,低于 1 400 ℃的铁水罐占尾罐的 67%;(2)一次出满的满罐铁水温度较高,一般为 1 400 ℃以上,满罐平均铁水温度为 1 419 ℃,高于 1 400 ℃的占满罐的 84%;(3)铁水罐平均铁水温度为 1 412 ℃。

2.3.3 铁水罐空罐测温

在炼钢车间兑铁后铁水罐热检、座包绑定和高炉出铁前 3 处,对首钢京唐 92 罐次的在线铁水罐空罐包壁温度进行测温,其中热检处 7 个、空罐座包绑定处 66 个、高炉炉下出铁前 19 个,结果如图 12 所示。

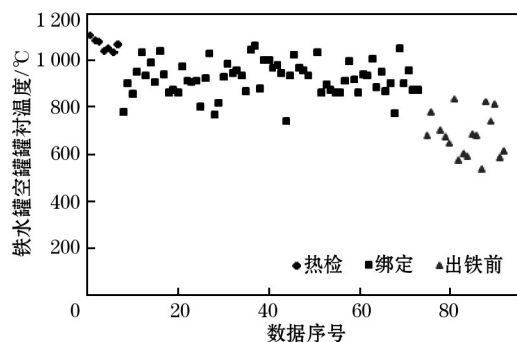


图 12 首钢京唐在线铁水罐空罐包壁温度

Fig. 12 Empty HML wall temperature of online HML in Shougang Jingtang

从图 12 中可以看出:(1)热检处平均空罐温度为 1 054 ℃,且波动较小,极差仅为 14 ℃;(2)空罐座包绑定处平均空罐温度为 926 ℃,波动较大,极差为 356 ℃,主要是受车间天车作业的影响,部分空罐未能直接坐上空罐台车,而是先放在车间地面上,因此导致从热检到绑定的等待时间不同,从而扩大了铁水罐空罐温度的波动范围;(3)出铁前平均空罐温度为 670 ℃,波动范围又有所缩小,极差为 242 ℃,主要是由铁水罐高温快速降温过程已经结束、低温区段降温速率较小导致的。

3 首钢京唐钢厂高炉-转炉区段铁水罐周转过程动态运行规则及实施效果

3.1 首钢京唐钢厂高炉-转炉界面铁水罐周转过程动态运行规则

在以上时间和温降规律研究的基础上,对首钢京唐钢厂高炉-转炉区段铁水罐周转过程提出优化的动态运行规则:(1)由于铁水在运输过程中从高炉出铁到KR进站温降占高炉-转炉区段总温降的 81%,为减少运输过程中的温度损失,铁水罐运行过程中铁水空罐、铁水重罐全程加盖来进行保温;(2)由于目前实际生产中一般只用到 2 个铁口和 4 条铁路线,因此高炉炉下配罐数量不超过 4 个,其中正在出铁的铁口下不超过 3 个铁水罐,堵口的铁口下不少于 1 个铁水罐;(3)为缩短铁水罐受铁时间,从而减少温降损失,对堵口后炉下的尾罐应立即调运至高炉另一侧铁口下继续出铁;(4)铁水罐运输采用“1 罐 1 送”的方式,高炉每运出 1 个铁水罐,应及时补回 1 个铁水罐;(5)铁水的处理和铁水罐的运输按照“先到先服务”的原则进行;(6)日常生产中应安排专人负责铁水罐的及时关盖和及时开盖,缩短铁水罐不必要的敞口时间,减少能量损失。

3.2 首钢京唐钢厂高炉-转炉界面铁水罐周转过程实施效果

对铁水罐运输过程时间、温度参数进行解析,在此基础上实施了相应的动态运行规则,首钢京唐钢厂高炉-转炉区段各指标实施效果逐步显现,目前实际运行效果见表 3。

表 3 炼铁-炼钢界面模式实施效果
Table 3 Interface mode implementation effect in BF-BOF section

研究内容	实施前	实施后
铁水罐周转时间/min	385	373
铁水温降/℃	132	112

通过优化炼钢车间生产计划和组织调度,缩短铁水罐重罐等待时间,加强铁水罐运输管理,目前铁水罐周转时间从 385 减少为 373 min;铁水罐周转加快,铁水罐重罐、空罐的周转时间减少,总温降减少 20 °C。出铁后罐内铁水温降减少,铁水温降减少 8 °C;对铁水重罐、空罐采用全程加盖措施,目前加盖运行率为 100%,减少铁水温降 12 °C,其中铁水罐重罐加盖温降减少 2 °C,铁水罐空罐温降减少 10 °C。

4 结论

(1) 对首钢京唐钢厂高炉-转炉区段“一罐到底”模式进行解析,分析其静态布局、各事件的运行时间,铁水罐空罐和重罐的周转时间以及在线铁水罐的个数等情况。

(2) 分析高炉-转炉区段铁水温降,指出目前铁水温降主要集中在高炉出铁到进 KR 工序之前,降温幅度达到 132 °C。此外,对铁水罐重罐中铁水温度和空罐进行了温度实测,指出两次出满的尾罐铁水温度较低,一次出满的满罐铁水温度较高;对于空罐而言,绑定处温度波动较大,出铁前温度波动较小。

(3) 在对时间和温降研究的基础上,针对铁水罐周转过程存在的问题,提出了相应的动态运行规则。

(4) 通过方案实施,降低了炼铁-炼钢界面铁水输送过程温降:2015 年 10 月炼铁-炼钢界面(从高炉铁沟至 KR)的铁水温降减少了 20 °C,其中铁水罐空罐加盖减少温降 10 °C,铁水罐重罐加盖减少温降 2 °C,铁水罐加快周转减少温降 8 °C。2015 年 11 月、12 月实施效果进一步提升,铁水温降分别降低了 23 和 25 °C。

参考文献:

- [1] 殷瑞钰. 冶金流程工程学[M]. 第 2 版. 北京:冶金工业出版社, 2009. (YIN Rui-yu. Metallurgical Process Engineering[M]. Version 2. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1990.)
- [2] 邱剑, 田乃媛. 典型流程区段炼铁炼钢界面的比较优势研究[J]. 北京科技大学学报, 2005, 27(6): 740. (QIU Jian, TIAN Nai-yuan. Research on the comparative advantage of iron and steel interface in typical process section[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2005, 27(6): 740.)
- [3] 张龙强, 田乃媛, 徐安军. 新一代大型钢厂高炉-转炉界面模式研究[J]. 中国冶金, 2007, 17(11): 29. (ZHANG Long-qiang, TIAN Nai-yuan, XU An-jun. Research on BF-BOF interface model of new generation large steel plant[J]. China Metallurgy, 2007, 17(11): 29.)
- [4] 杜涛, 蔡九菊, 李亚军, 等. 炼铁-炼钢界面温降与节能模式分析[J]. 钢铁, 2008, 43(12): 83. (DU Tao, CAI Jiu-ju, LI Ya-jun, et al. Analysis of hot metal temperature drop and energy-saving mode on thermo-interface of BF-BOF route[J]. Iron and Steel, 2008, 43(12): 83.)
- [5] 冯勤, 冀中年. 紧凑式“一罐到底”工艺技术[J]. 中国冶金, 2015, 25(1): 31. (FENG Qin, JI Zhong-nian. Compact type “One Ladle Technology” process[J]. China Metallurgy, 2015, 25(1): 31.)
- [6] 尚国普, 向春涛, 段晓彤, 等. 铁钢界面“一罐到底”总图布置型式的研究及应用[J]. 中国冶金, 2017, 27(8): 45. (SHANG Guo-pu, XIANG Chun-tao, DUAN Xiao-tong, et al. The research and application of iron and steel interface “One Ladle Technology” general layout pattern[J]. China Metallurgy, 2017, 27(8): 45.)
- [7] 赵东明, 孙宏武, 唐小藏. 鞍钢朝阳 2 600 m³ 高炉采用的新技术[J]. 炼铁, 2009, 28(6): 10. (ZHAO Dong-ming, SUN Hong-wu, TANG Xiao-wei. New technology adopted in 2 600 m³ blast furnace in Anshan Steel[J]. Ironmaking, 2009, 28(6): 10.)
- [8] 吕冬瑞, 田乃媛, 徐安军, 等. 宣钢取消混铁炉可行性分析[J]. 钢铁研究, 2006(5): 33. (LÜ Dong-rui, TIAN Nai-yuan, XU An-jun, et al. Feasibility analysis of canceling mixed iron furnace in Xuanhua Steel[J]. Research on Iron and Steel, 2006(5): 33.)
- [9] 邱剑, 田乃媛, 刘茂林, 等. 宝钢制造业流程铁钢界面物流参数的解析[J]. 北京科技大学学报, 2004, 26(2): 197. (QIU Jian, TIAN Nai-yuan, LIU Mao-lin, et al. Analysis of iron and steel interface logistics parameters in Baosteel[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2004, 26(2): 197.)
- [10] 陈红, 方丽华, 孙小跃, 等. 昆钢新区“一罐到底”工艺方案选择分析[J]. 钢铁, 2013, 48(12): 85. (CHEN Hong, FANG Li-hua, SUN Xiao-yue, et al. Analysis of “One Ladle Technology” process scheme in Kunsteel[J]. Iron and Steel, 2013, 48(12): 85.)
- [11] 任彦军, 王家伟, 张晓兵. 沙钢铁钢界面“一包到底”生产实践[J]. 炼铁, 2012(2): 31. (REN Yan-jun, WANG Jia-wei, ZHANG Xiao-bing. Production practice of “One Ladle Technology” in the BF-BOF interface in Sha Steel[J]. Ironmaking, 2012(2): 31.)
- [12] 杨玻, 董荣华, 刘浏, 等. 重钢铁钢界面“一罐制”技术的研究与应用[J]. 中国冶金, 2013, 23(10): 17. (YANG Bo, DONG Rong-hua, LIU Liu, et al. Research and application of “One Ladle System” technology on iron steel interface in CISC[J]. China Metallurgy, 2013, 23(10): 17.)
- [13] 周继程, 郦秀萍, 韩伟刚, 等. 炼铁-炼钢界面模式与铁水罐多功能化技术[J]. 钢铁, 2017, 52(4): 94. (ZHOU Ji-cheng, LI Xiu-ping, HAN Wei-gang, et al. Interface mode between BF and BOF and multifunctional hot metal ladle technology[J]. Iron and Steel, 2017, 52(4): 94.)