生产实践

鞍钢高炉非计划长时间重负荷闷炉开炉实践

李响,陈原同,段兴宇,胡攀
(鞍钢股份有限公司炼铁总厂,辽宁 鞍山 114021)

摘要: 为了实现鞍钢股份有限公司炼铁总厂2580 m³高炉非计划闷炉31 d 3 h后顺利开炉,采取了分阶段精准控温控水措施闷炉保温,炉体水量均降至最低,开炉集中少量开风口,开炉料核心参数为总焦比1 000 kg/t,终渣碱度1.0,送风前提前烧氧气等措施。实践结果表明,高炉实现了开炉后45 h风口全开,5 d达产的目标,高炉利用系数稳定在2.0 t/(m³·d),物理热大于1 450 ℃,避免了炉缸冻结处理中常见的风口灌渣、破损等问题,一次开炉出铁成功。该实践为高炉非计划重负荷闷炉及炉缸冻结的处理提供了参考。

关键词: 高炉;非计划闷炉;重负荷;炉缸冻结;开炉
中图分类号: TG307 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4613(2026)04-0058-05
DOI:10.3969/j.issn.1006-4613. 2026. 04. 008

Practice of Blast Furnace Restart after Unplanned Long-term Shutdown with Heavy Load in Ansteel

LI Xiang, CHEN Yuantong, DUAN Xingyu, HU Pan
(General Ironmaking Plant of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114021, Liaoning, China)

Abstract: To achieve a smooth restart of the 2580 m³ blast furnace in General Ironmaking Plant of Angang Steel Co., Ltd. after unplanned long-term shutdown with heavy load for 31 days and 3 hours, a series of measures were implemented, including controlling temperature and cooling water in a staged and precise manner for furnace preservation, minimizing cooling water flow to the furnace body, adopting a concentrated and limited tuyere opening strategy during restart, setting key burden parameters with a total coke ratio of 1 000 kg/t and a final slag basicity of 1.0, and pre-injecting oxygen prior to blowing-in. The results showed that full tuyere opening was achieved 45 hours after restart, and the designed production capacity was reached within 5 days. The blast furnace productivity remained stable at 2.0 t/(m³·d), and the physical heat of hot metal exceeded 1 450 °C. Common issues encountered during hearth freezing treatment, such as tuyere slagging and damage were avoided, and the first iron tapping was accomplished smoothly. This practice provides a valuable reference for managing unplanned long-term shutdowns with heavy load and mitigating hearth freezing in blast furnaces.

Key words: blast furnace; unplanned shutdown; heavy load; hearth freezing; restart

高炉长期闷炉以及闷炉后送风恢复操作难度极大,稍有不慎,就会给炉况恢复带来困难,造成企业重大经济损失。21世纪以来,随着高炉装备水平的提高,生产组织的科学性也在提高,高炉很少采用闷炉操作。鞍钢股份有限公司炼铁总厂5#高炉(2580 m³)2023年4月24日原计划休风5 d,后因外部原因,送风时间延长至5月25日。期

李响,工程师,2005毕业于辽宁科技大学钢铁冶金专业。
E-mail:lixiang6721273@163.com

间高炉实际以23%的重负荷闷炉31 d 3 h。分析判断该状态炉缸已出现部分冻结，经过制定科学的恢复方案，采取分阶段精准控温控水、优化开炉料核心参数等措施，避免了炉缸冻结处理过程中常见的风口灌渣、破损等问题，实现一次开炉出铁成功，确保5#高炉快速恢复正常及达产，为其他高炉非计划重负荷闷炉的处理及炉缸冻结的处理提供了经验。本文对此作一介绍。

1 闷炉保温工作及开炉前的准备

1.1 闷炉保温工作

闷炉过程中炉身及炉缸水量的控制既能降低水系统运行成本，也能对炉体进行有效保温[1]。针对本次闷炉时间长的特点，采取了分阶段精准控温控水措施如下。

（1）休风后4 h，炉身系统停一台泵，水量由4 100 m^3/h减至2 600 m^3/h，齿轮箱水量由57 m^3/h减至27 m^3/h，风口全部堵泥；休风后24 h，炉缸系统停一台泵，水量由4 700 m^3/h减至2 600 m^3/h，以减少热量散失。

（2）休风后24 h，炉顶650放散阀仅开1个，其余关闭，每24 h倒换一次，维持炉内微正压环境，抑制空气进入造成焦炭氧化[2]。

（3）休风后48 h，炉身系统水温降至32 ℃、炉缸系统水温降至27 ℃，关停闭路炉身炉缸系统喷淋、风扇及二冷水，避免过度冷却导致炉体温度持续下降。

（4）休风后52 h，炉内压水渣25 t，布料角度控制在30°~38°（后续观察发现边缘有明火，建议初始角度采用40°，可对未压住区域二次补压）。水渣形成的料层能有效阻隔空气与焦炭，其阻燃作用是保证重负荷闷炉开炉顺利的关键之一[3]。

（5）休风后120 h，风口高压水停泵一台，水量由980 m^3/h降至830 m^3/h，水压由1.7 MPa降至1.2 MPa，在保证风口冷却安全的前提下减少热量损耗。

1.2 开炉前高炉状态分析

开炉前高炉状态分析是制定恢复方案的重要依据，结合本次闷炉的负荷参数、炉料分布及热量损失情况，开展全面细致的炉况研判。本次闷炉初期按5 d计划组织休风料，采取提高入炉焦比及额外加罐焦的技术措施，将焦炭负荷减轻30%、综合负荷减轻23%，入炉焦比由正常生产时的335 kg/t提升至400 kg/t，累计提焦比65 kg/t；同时额外加入净焦共9罐，具体加入节奏为提焦比后1 h加焦6罐，间隔1.5 h后再加焦3罐；为改善炉渣流动性，将入炉炉料碱度由1.50下调至1.38，累计降低12个单位，终渣碱度控制在0.99的低碱度区间。原计划休风料共计57批，实际因操作调整入炉58批，降负荷料的分布位置下至炉腹上沿，其中集中加入的净焦主要停留在炉腰及炉身下部区域。

从炉况研判结果来看，本次闷炉存在两个重要风险点：一是补入的净焦量不足，且分布位置仅到达炉腰及炉身下部，未能有效到达炉缸区域，无法为炉缸提供充足的热量储备；二是31 d 3 h的超长闷炉时间导致炉缸热量损失过大，炉缸温度持续下降。基于以上两点判定，复风后炉缸无法得到充分预热，炉身上部熔化的液态渣铁进入炉缸后，温度会快速下降，极易在风口与铁口之间凝结形成隔断层，导致液态渣铁无法顺利到达炉缸底部从铁口排出，进而在风口区聚集，引发风口烧坏甚至烧穿等恶性事故[4]。借鉴国内外高炉炉缸冻结处理的成功经验认为[5]，净焦到达风口区域的这段时间是出渣和出铁的关键阶段，严格把控加风进度、铁口与风口的沟通效率及渣铁的及时排放，是保证本次安全开炉的关键。

1.3 风口数目选择及冷却水量控制

考虑到本次开炉炉缸热量储备不足、铁水物理热偏低的实际工况，在制定风口送风方案时，确定按下限设定送风风口数目，以实现热量集中供应，快速提升炉缸温度。图1为5#高炉长期闷炉开炉送风风口布局示意图。

具体方案为：开炉前准备东、西两个主铁口，南铁口作为备用铁口；在东、西两个铁口上方各选择6个风口作为送风风口，共计12个送风风口，非出铁铁口上方的18个风口全部进行封堵，送风风口总面积控制为0.140 m^2。在风口封堵作业中，严格执行标准化操作流程，先卸除风口连接风管，再采用专用堵风口耐火砖对风口前端进行密封，确保封堵严密，防止送风时出现漏风现象。同时，针对渣铁难以下到炉缸、易在风口区域聚集造成热量富集的风险，制定了严格的风口冷却制度，将风口冷却水量开至最大值980 m^3/h，水压保持1.7 MPa，

风口二套冷却水量同步开全，水压0.85 MPa、水量480 m³/h，确保风口在高温热负荷环境下的冷却安全；在送风恢复阶段，强化风口区域的巡视频次，每15 min巡检一次，重点监测风口温度、冷却水进出水温差及风口有无发红、漏风等异常情况，一旦发现问题立即采取应急处置措施，防止风口烧穿事故发生[6]。

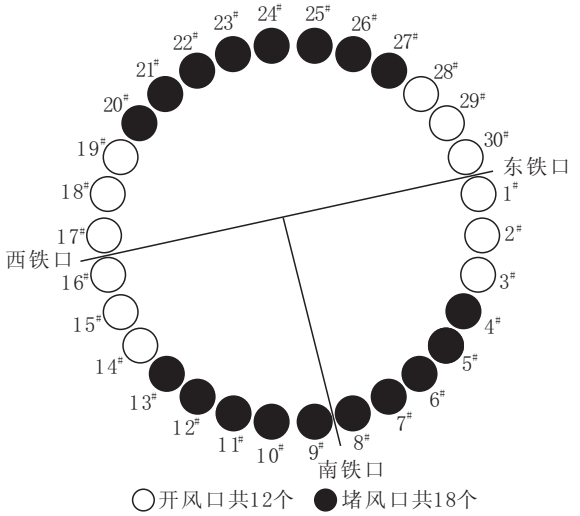


图1 5#高炉长期闷炉开炉送风风口布局示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of Tuyere Layout for Blowing-in of No. 5 Blast Furnace after Long-term Shutdown

1.4 开炉炉料分析

本次非计划超长闷炉，导致原计划的休风料分布位置仅到达炉腰区域，开炉后休风料到达风口时的热量衔接及凉渣、凉铁的顺利排出成为开炉成败的制约环节。基于此，明确开炉炉料的设计目标：补充热量、降低炉渣碱度、促进渣铁顺利流动到达炉缸[7]。结合本次高炉的实际工况，确定本次开炉料的核心参数为总焦比1 000 kg/t，终渣碱度1.0，为渣铁流动创造良好条件。

在开炉料的加入节奏上，制定精准的加料方案。送风后立即集中加净焦15批，随后加入50%球团矿4批，实现热量快速补充与炉料透气性改善的双重目标。入炉焦比选择650 kg/t(不含焦丁)，矿石批重50 t/批。同时，为了进一步改善渣铁流动性，每批矿石中配加1 t锰矿，利用锰矿的冶金特性降低炉渣熔点，提升渣铁分离效果。

1.5 风口与铁口贯通

针对本次炉缸因长时间非计划重负荷休风产生局部冻结的工况，在不预埋氧枪的情况下，实现铁口与风口的有效沟通成为本次开炉的核心技术难点[8]。经过多方案比选，最终确定采用送风前提前烧氧气的创新性技术措施，打通铁口与风口之间的通道。具体实施步骤如下。

(1) 确定烧氧作业时间。选择在送风前10 h至送风前2 h，共计8 h的窗口期开展烧氧作业，确保有充足时间贯通通道，同时避免过早烧氧导致热量散失。

(2) 确定烧氧风口位置。在准备出铁的东铁口上方卸开30#、1#风口二套，西铁口上方卸开16#、17#风口二套，作为烧氧作业的操作点。

(3) 规范烧氧作业流程。安排专业人员不间断地从风口二套位置向下烧氧，直至铁口位置返出煤气及渣铁粒，确定铁口与风口之间的通道完全贯通。

(4) 做好收尾工作。在送风前2 h停止烧氧气作业，将拆卸的二套风口重新安装到位，为后续送风做好准备。

在出铁工艺方面，针对初期渣铁温度低、分离效果差的特点，对准备出铁的东西两个铁口均采取捣料填沟、砂口临时封堵的措施，采用鱼雷罐混铁的方式出铁，避免低温渣铁堵塞出铁通道。待渣铁温度逐步上升、渣铁分离效果明显好转后，再转为正常的砂口出铁方式，确保出铁作业安全顺畅。

1.6 开炉布料制度确定

科学合理的布料制度是改善炉料透气性、优化煤气流分布、促进热量集中的重要手段[9]。结合本次重负荷闷炉、炉缸热量不足的工况，制定边缘适度加重、中心透气通畅的开炉布料制度。该布料制度能够有效避免边缘煤气流过分发展，同时保障中心煤气流的通畅性，实现炉料均匀下降与热量集中供应的双重目标，为炉缸快速升温创造有利条件。开炉布料制度如下：

$$C^{40.4^{\circ}}_{3}\,^{37.9^{\circ}}_{3}\,^{35.6^{\circ}}_{3}\,^{33.1^{\circ}}_{2}\,^{30.3^{\circ}}_{2}\,^{27.3^{\circ}}_{1}\,^{10.0^{\circ}}_{5}\,,\ O^{40.4^{\circ}}_{3}\,^{37.9^{\circ}}_{3}\,^{35.6^{\circ}}_{3}\,^{33.1^{\circ}}_{2}\,^{30.3^{\circ}}_{2}$$

2 开炉实绩

2.1 送风点火

2023年5月25日17:06高炉正式点火送风。送风初始状态，风量690 m³/min，风压0.035 MPa，初始风温过低仅300 ℃。为了提高风温，打开封堵

的18个风口视盖，至18:25风温升至630 ℃，陆续关闭全部风口视盖。18:40开始接收煤气。送风后集中加净焦15批和50%球团矿4批。入炉焦比选择650 kg/t(不含焦丁)，矿石批重50 t/批(包含锰矿1 t/批)。送风后出现滑料1次，料线由3.3 m滑至5.2 m，额外增加罐焦2批。通过精准的料批控制，为炉缸持续补充热量，改善炉渣流动性确保煤气流分布合理，炉料下降顺畅。

2.2 初期出铁情况

本次开炉共设置三个铁口，其中南铁口刚完成检修，作为备用铁口暂不投入使用；东铁口和西铁口为经过保温处理的旧铁口，在停炉期间已将沟内残铁放净，并采取覆盖保温材料的措施，防止铁口温度下降。

出铁初期，由于炉缸热量储备不足，渣铁温度偏低，渣铁分离效果较差，采取了渣铁混出的操作方式。对东、西两个铁口均采取捣料填沟、砂口临时封堵的措施，利用鱼雷罐进行混铁出铁，避免低温渣铁堵塞出铁通道。随着送风时间的延长，炉缸温度逐步回升，东西铁口各出铁2次后，铁水物理热恢复至1 450 ℃，渣铁分离效果明显好转，随即转为正常的砂口出铁方式。

5#高炉开炉初期的出铁情况见表1。从表1数据可以看出，随着出铁次数的增加，铁水物理热呈现稳步上升趋势，从1 320 ℃升至1 492 ℃，接近正常生产水平；Si含量先升后稳，说明炉缸热量逐步充足；S含量持续下降，说明炉渣脱硫效果不断改善，各项指标均朝着良性方向发展。

表1 5#高炉开炉初期的出铁情况

Table 1 Situation of Iron Tapping of No. 5 Blast Furnace during Initial Restart

出铁次数	铁口位置	铁水量/t	铁水物理热/℃	Si含量/%	S含量/%
1	西	800		0.298	0.313
2	东	1 150	1 320	0.314	0.369
3	西	500	1 410	1.266	0.096
4	东	180	1 430	1.480	0.095
5	西	260	1 455	2.296	0.017
6	东	200	1 470	1.724	0.068
7	西	970	1 492	1.290	0.026

3 出铁后参数恢复情况

出铁后，高炉炉缸物理热逐步恢复至正常水平，渣铁分离效果良好，按照“先开风口、后提风量、稳步富氧”的既定原则，分阶段推进各项操作参数的恢复工作，确保炉况平稳顺行。开炉后36 h，逐步打开部分封堵的风口，高炉达到全风操作状态；开炉后45 h，全部风口完成开启作业，实现满风口送风；开炉后47 h，炉况稳定顺行恢复富氧，高炉冶炼强度进一步提升。

通过一系列精准操作控制，5#高炉实现了开炉后5 d达产的目标，高炉利用系数稳定在2.0 t/(m³·d)，物理热大于1 450 ℃，各项技术经济指标达到预期要求。5#高炉开炉期间的主要操作参数见表2。

从表2数据可以看出，随着开炉时间的推移，高炉风量、风温、风压等关键参数均呈现稳步上升

表2 5#高炉开炉期间的主要操作参数

Table 2 Main Operating Parameters of No. 5 Blast Furnace during Restart

日期	风量/(m³/min)	风温/℃	风压/kPa	顶压/kPa	顶温/℃	标准风速/(m/s)	鼓风动能/(J/s)	综合焦炭负荷/(t/t)
5月25日	1 352	882	123	25	170	99	26 632	1.822
5月26日	1 756	939	182	56	209	85	11 836	3.262
5月27日	3 900	930	321	155	223	190	57 417	3.311
5月28日	4 526	1 079	354	180	201	220	97 708	3.288
5月29日	4 208	1 094	322	162	212	205	92 483	3.319
5月30日	4 422	1 152	341	171	214	215	108 777	3.312
5月31日	4 487	1 180	346	173	210	218	115 682	3.332

趋势，鼓风动能逐步优化，综合焦炭负荷逐渐恢复至正常生产水平，充分表明高炉炉况已实现稳定顺行。避免了炉缸冻结处理中常见的风口灌渣、破损等问题，实现一次开炉出铁成功。该实践为高炉非计划重负荷闷炉及炉缸冻结的处理提供了参考。

4 结语

针对鞍钢5#高炉非计划闷炉31 d 3 h后的恢复，采取了如下措施，停炉期间通过对炉缸及炉体水温、水量的精准控制，结合风口堵泥和压水渣的精准布料形成有效的隔绝层，最大限度减少了炉内热量损失，避免了炉缸完全冻结；开炉料的总焦比控制在1 000 kg/t；开炉前集中送风实现热量集中供应，采用铁口与风口提前烧氧贯通措施，确保高炉安全恢复炉况，避免了炉缸冻结处理中常见的风口灌渣、破损等问题。开炉后45 h风口全开，5 d达产，高炉利用系数稳定在2.0 t/(m³·d)，物理热大于1 450 ℃，实现一次开炉出铁成功。该实践为高炉非计划重负荷闷炉及炉缸冻结的处理提供了参考。

参考文献

[1] 周传典. 高炉炼铁生产技术手册[M]. 北京：冶金工业出版社，2003：454-457.
[2] 王海风，李建军，张勇. 首钢2500 m³高炉长期闷炉保温与快速恢复实践[J]. 炼铁，2021，40(3)：28-31.
[3] 朱仁良，金觉生. 宝钢4高炉开炉快速高产实践[J]. 炼铁，2012，22(4)：36-39.
[4] 张立国，范振夫，刘宝奎，等. 鞍钢4号高炉优化生产实践[J]. 中国冶金，2020，30(5)：65-69.
[5] 梁利生. 宝钢湛江钢铁1号高炉开炉及生产操作实践[J]. 中国冶金，2016，26(9)：71-75.
[6] 姜庆喜，范振夫，刘和，等. 鞍钢2580 m³高炉大修开炉达产实践[J]. 鞍钢技术，2018(4)：48-51.
[7] 赵志星，杨利彬，吴华杰. 河钢集团某2000 m³高炉非计划重负荷闷炉恢复技术[J]. 钢铁，2022，57(S1)：189-194.
[8] 刘磊，高军，李刚. 2500 m³高炉炉缸冻结恢复生产实践[J]. 中国冶金，2021，31(6)：90-94.
[9] 张洪雷，马治国，马果丰. 大型高炉长期休风闷炉保温技术优化. 炼铁，2020，39(2)：48-51.

（编辑　许营）
修回日期：2026-01-10

（上接第52页）

型，以实现对带钢边降更精细、更稳健的控制。

参考文献

[1] 冯夏维，王晓晨，杨荃，等. 六辊轧机工作辊辊形边降调控能力分析[J]. 机械工程学报，2019，55(12)：83-90.
[2] 杨光辉，张高尚，张杰，等. 2180mm超宽六辊CVC冷轧机SMS-EDC边降控制特性[J]. 钢铁，2018，53(5)：52-61.
[3] 轩康乐，余伟，唐伟，等. 六辊冷连轧机带钢边降控制性能仿真研究[J]. 轧钢，2017，34(6)：33-37，41.
[4] 崔亚亚，白振华，崔熙颖，等. 六辊轧机冷轧过程边部减薄预报模型[J]. 钢铁，2018，53(1)：46-53，78.
[5] 王晓晨，冯夏维，徐冬，等. 薄带冷连轧工作辊窜辊边降调控功效[J]. 工程科学学报，2020，42(2)：242-248.
[6] 宋君，李富强，贾增本，等. UCMW轧机边部减薄形成机理分析及预测[J/OL]. 材料与冶金学报，(2024-11-05)[2026-07-15]. https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1473.TF.20241104.1622.002.html.
[7] 张海东，王英春，马炜师，等. 六辊冷轧机的带钢板形参数及辊间接触压力研究[J]. 金属世界，2022(5)：75-82.
[8] 彭良贵，周一林，陈亚飞，等. HC冷轧机凸度工作辊使用制度[J]. 中国冶金，2023，33(3)：144-150.
[9] 季业益，陆宝山，关集俱，等. 冷连轧机新型锥形工作辊设计[J]. 锻压技术，2020，45(10)：117-123.
[10] 沈新玉，胡柯，李宏洲，等. UCM冷连轧机边降控制工作辊辊形优化[J]. 中国冶金，2019，29(11)：55-60.
[11] 张建雷，陈卫，陆佳栋，等. UCM轧机工作辊辊形设计及应用[J]. 钢铁，2022，57(8)：123-131.
[12] 姜南，何国赛，陈猛，等. 全机架高速钢轧辊轧制无取向硅钢的应用研究[J]. 电工钢，2021，3(6)：40-46.
[13] 李硕，于洋，宋浩源，等. 基于凸度转移理念的冷轧支撑辊辊型设计[J]. 中国冶金，2023，33(9)：112-117.
[14] 张建雷，岳重祥，毛观伟，等. 冷连轧边降控制多机架工作辊端部辊形研究[J]. 钢铁研究学报，2023，35(11)：1375-1383.
[15] 张海东，王景聪，贾大朋，等. 高牌号硅钢UCMW冷连轧机辊径组合与辊形方案[J]. 中国冶金，2025，35(1)：87-100.
[16] 李俊洪，李军，邓菡，等. 无取向电工钢边部减薄控制技术研究[J]. 钢铁，2011，46(1)：49-51，59.
[17] 宋君，刘宝权，吴萌，等. 1500mm五机架冷连轧边部减薄控制系统开发与应用[J]. 鞍钢技术，2016(3)：23-27，58.
[18] 张岩，高健，吴鲲魁，等. 单锥度辊冷轧机边部减薄控制应用研究[J]. 冶金自动化，2016，40(1)：45-49.
[19] 杨忠杰，岳军，侯瑞强，等. 冷轧硅钢EVC辊形设计及边降控制模型研究与应用[J]. 冶金自动化，2020，44(1)：60-66.
[20] 张岩，吴鲲魁，孙瑞琪，等. 基于无模型预估算法的电工钢边部减薄滞后控制系统[J]. 冶金自动化，2020，44(6)：70-76.

（编辑　许营）
修回日期：2026-07-15