生产实践

鞍钢3200 m³高炉长期休风的快速复风实践

蒋益[1],刘海滨[1],费鹄[1],张海明[1],胡攀[1],李响[1],王亮[1],姜喆[2]
(1.鞍钢股份有限公司炼铁总厂,辽宁 鞍山 114021;
2.鞍钢集团钢铁研究院,辽宁 鞍山 114009)

摘要: 对鞍钢3200 m³高炉长期计划休风并快速复风的过程进行了总结。针对高炉长时间休风、休风料没有下达到位和炉缸热量损失大的状况,休风期对高炉进行有效保温,并以炉内快速加热炉缸、炉外排净冷渣铁后逐渐加全风为思路制定复风方案,复风后通过采取尽快加入适量净焦、准确把控开风口和加风节奏等措施,高炉实现复风后36 h恢复至休风前正常生产水平。

关键词: 高炉;休风;保温;排净冷渣铁
中图分类号: TF5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4613(2026)03-0047-04
DOI:10.3969/j.issn.1006-4613. 2026. 03. 008

Recovery Practice of 3200 m³ Blast Furnace in Ansteel after Long-time Shutdown

JIANG Yi[1], LIU Haibin[1], FEI Hu[1], ZHANG Haiming[1],
HU Pan[1], LI Xiang[1], WANG Liang[1], JIANG Zhe[2]
(1. General Ironmaking Plant of Angang Steel Co., Ltd., Anshan 114021, Liaoning, China;
2. Ansteel Iron and Steel Research Institutes, Anshan 114009, Liaoning, China)

Abstract: The rapid recovery process of Ansteel 3200 m³ blast furnace after long-time shutdown was summarized. In response to the situations including long-time shutdown, suboptimal distribution of the shutdown charge, and severe heat loss in the hearth, effective thermal insulation measures of the blast furnace were implemented during the shutdown period. A recovery scheme was formulated based on rapidly reheating the hearth and discharging the cold slag and iron and then gradually restoring full blast volume. After the blast furnace recovery, the blast furnace restored its pre-shutdown production level within 36 hours by adding clean coke in appropriate quantities at optimal times and precisely controlling the opening and closing sequence of tuyeres.

Key words: blast furnace; shutdown; insulation; discharging cold slag and iron

鞍钢股份有限公司炼铁总厂1号高炉(3200 m³)于2017年3月大修开炉。高炉设有4个铁口和32个风口,采用串罐无料钟炉顶、除盐水密闭循环系统,配备3座内燃式热风炉。2025年4月11日,因烧结设备出现故障,高炉被迫计划休风120 h,后续由于设备检修未按计划完成,休风时间又延长44 h,达到164 h。由于此次休风时间较计划延长44 h,送风后高炉亏热严重,炉缸渣铁温度低,流动性差,炉缸活性差,炉况恢复时间长[1]。针对上述情况,通过采取注重炉体密封保温,准确把控加风和开风口节奏,合理控制炉温,并根据下料情况及时排净冷渣铁等措施,使高炉在36 h内完成了从正式加风至全风的恢复过程,本文对此做一介绍。

1 高炉休风关键技术

休风料的作用在于提高料柱透气性,并在复风后提高炉缸炉温水平。其中就炉温而言,复风

蒋益,高级工程师,2006毕业于辽宁科技大学材料科学与工程专业。E-mail: bargo6@163. com

后约有4~8 h不能喷煤，而喷煤后又需要3~4 h才能起到热补偿作用，因此在复风初期，炉内存在严重亏热现象[2-3]。在喷煤起作用及轻负荷料下达炉缸之前，随着风量增加，原来休风冷却下来的炉料生成的渣铁下达到炉缸，炉温会跌至最低水平，铁水[Si]含量高而物理热低，渣铁流动性差，不易出净渣铁[4-6]。随着热补偿手段（如喷煤、风温提高和轻负荷料下达炉缸等）发挥作用，炉温逐渐回升，直至最高点，后续随着正常负荷料下达，并采取高炉平衡热量操作，炉温逐步回归至正常水平，但炉温的大幅波动必然引起高炉透气性恶化。为尽快恢复炉况，需要采取高炉保温和控制轻负荷料合理分布的措施，缩小最低炉温与最高炉温的差距是炉况尽快恢复的基础[2]。

1.1 休风料位置与焦炭负荷

高炉复风后炉温变化规律是确定休风料位置与分配的重要依据，同时还应兼顾提高料柱空隙度，改善高炉的透气性。按照上述理念，在高炉休风时，轻负荷的休风料（净焦）应加在炉腹上沿至炉腰位置，以便送风后炉料可直接过渡到风口位置，为快速恢复炉温提供燃料；必要时还可将休风料同时布置在炉身下部，以便改善高炉软熔带透气性。此次停炉休风即按照上述理念装休风料，但由于焦炭负荷减轻过多，焦批体积增加，同时装休风料后期，上部气流紊乱导致料速变慢，造成休风料计划入炉量与实际入炉量产生差别，相比休风计划方案少加10批休风料。1号高炉休风164 h的休风料见表1。

表1 高炉休风164 h的休风料

Table 1 Shutdown Charge of Blast Furnace after 164 Hours Shutdown

项目	休风料/批	净焦/t	净焦下达位置
计划	70	149.6	炉腰
实际	60	149.6	炉身下部

1.2 高炉休风期间保温

由于此次休风时间长，为减少炉缸热量损失，防止炉缸大凉甚至冻结，高炉采取以下保温措施：① 第一时间将风口堵严，最大限度阻止空气进入炉内，避免风口前焦炭燃烧生成低温黏稠的渣铁，以保存炉缸热量。② 休风后立即调整高炉各部位冷却水量，以不断流为准，降低炉缸、炉体冷却强度，减少炉体热量的损失，高炉闭路循环水量从3 800 m³/h减少到2 800 m³/h（闭路减少一个水泵）。③ 休风后全面检查设备是否漏水，确保不向炉内漏水。④ 休风期间对炉顶打水和蒸汽做物理隔断，实时监控齿轮补水情况，及时更换坏风口，关闭烧损的冷却设备内循环水。⑤ 为减少炉内抽力，封炉期间只开启一个炉顶放散阀。⑥ 加强风口漏风情况检查，出现漏风及时采取密封措施。

2 高炉复风关键技术

2.1 渣铁排放过程

渣铁排放干净是高炉长期休风后顺利复风的关键。送风初期，高炉炉缸亏热严重，渣铁流动性差，需要确定合适的开铁口时机[7-8]。按照鞍钢的经验，高炉上8个料批以上炉内有一定渣铁积累，同时风压达到200 kPa可保障铁口有一定压力后，可以开铁口。1号高炉在送风4 h54 min后打开4#铁口出第一炉铁，由于高炉初期顺行不好，此时风压仅达到180 kPa，但已经下料24批，炉缸积存了大量渣铁，因此决定开铁口。第一次开铁口流铁时间为3 h21 min，出铁430 t，欠铁464 t，欠渣309 t，铁水温度1 394 ℃，[Si]含量1.49%，渣铁流动性不好。由于渣铁流动性不好，决定仍用相对较活跃的4#铁口出第二炉铁，1号高炉在送风后8 h55 min再次打开4#铁口出第二炉铁，出铁416 t，超铁43 t，但仍然欠渣67 t，铁水温度1 408 ℃，[Si]含量0.59%，渣铁温度相对第一次出铁有所提高，此时已经下料60批，说明轻负荷料已经下达炉缸开始起作用。鉴于此，为提高炉缸均匀性，决定开4#铁口对向的2#铁口出第三次铁。1号高炉在送风后11 h15 min打开2#铁口出第三炉铁，第三次开铁口流铁时间为2 h5 min，出铁384 t，欠铁76 t，欠渣121 t，铁水温度1 403 ℃，[Si]含量0.46%，渣铁流动性仍然欠佳。前三次开铁口累计欠铁497 t，欠渣430 t，说明炉缸工作状态仍然欠佳。此后，2个铁口正常轮流出铁，以逐渐恢复炉温、排净渣铁为主，出净渣铁前避免因着急加全风造成炉况反复波动。复风后17 h43 min出第五次铁后，炉缸热量水平逐渐恢复，此次出铁分别超铁162 t，超渣480 t，炉缸冷渣铁基本排净，标志着高炉有了恢复全风和全氧基础条件。鞍钢1号高炉复风后出铁参数见表2。

2.2 炉温与后续焦比调整情况

由于高炉长期休风，炉内热量大量损失，以及在送风初期，风温和喷煤等提炉温手段无法用全，本次复风采取分三阶段加轻负荷料的方式恢

复炉温:第一阶段为送风开始到喷煤前,第二阶段为开始喷煤到达到正常生产时煤量期间,第一和第二阶段均主要补偿送风后数小时内无法正常喷吹煤粉和低风温而产生的热量亏欠[9];第三阶段为喷煤量正常之后,根据炉温水平对燃料比进行调整。鞍钢1号高炉复风料制的调整方案如表3所示。

表2 鞍钢1号高炉复风后出铁参数

Table 2 Tapping Parameters of No. 1 Blast Furnace after Recovery in Ansteel

出铁时间		铁口	间批/批	出铁量/t	铁量差/t	出渣量/t	渣量差/t	[Si]含量/%	铁水温度/℃
开始	结束								
4月18日13:54	4月18日17:15	4#	48	430	-464	29	-309	1.49	1 394
4月18日17:55	4月18日19:25	4#	20	416	43	70	-67	0.59	1 408
4月18日20:15	4月18日22:20	2#	25	384	-76	50	-121	0.46	1 403
4月18日22:53	4月19日2:22	4#	34	785	152	200	-33	0.96	1 436
4月19日2:43	4月19日7:04	2#	38	870	162	740	480	0.45	1 419
4月19日7:24	4月19日10:27	4#	39	670	-56	180	-87	0.49	1 446
4月19日10:35	4月19日12:27	2#	23	360	-79	440	278	1.20	1 486
4月19日12:48	4月19日15:25	4#	34	634	34	244	-134	1.42	1 487

表3 鞍钢1号高炉复风料制的调整方案

Table 3 Adjustment Scheme for Recovery Materials of No. 1 Blast Furnace in Ansteel

项目	时间	料批数/批	焦炭负荷/(t/t)	焦比/(kg/t)	净焦量/t
第一阶段	4月18日8:00—4月18日16:00	49	3.52	470	17.6
第二阶段	4月18日16:00—4月19日8:00	126	4.28	390	88
第三阶段	4月19日8:00—4月20日8:00	268	4.36	380	0

长时间休风的高炉,炉料劣化严重,炉缸堆积,进而影响高炉透气性,给高炉送风后热量和风量的恢复带来很大的困难[10]。1号高炉采取“稳中求进,小步快走”的送风方式恢复风量。考虑到送风初期炉温低,采取在非铁口区域分级堵风口的方式进行复风,送风风口面积0.291 1 m^2,即4个风口用砖少堵、4个风口用泥堵实,确保砖堵的风口易捅,泥堵的风口在复风前期不易被吹开,以利于在慢风状态下提高风速来吹向炉缸中心、铁口区域,以快速恢复炉温,并减少炉前工作量。鞍钢1号高炉复风过程风量变化情况见图1。4月18日18:00堵砖风口在风量达到3 000 m^3/min、实际风速达到244 m/s时自动吹开,随后有节奏加风,19:27风量进一步增加到4 200 m^3/min,实际风速达到240 m/s以上,此时已经相继下料73批,初步判断已经完成对高炉内部料柱的更新替换,相继捅开4个堵泥的风口,准备将风量加全。但22:20前3次铁出完后仍然累计欠渣497 t,复风前期渣铁未出净,说明高炉炉缸不活跃,炉缸热量水平没有恢复,仍然不具备加风条件,也侧面证明了休风料或复风后第一阶段轻负荷料焦炭负荷没有减到位,炉缸热量不足。

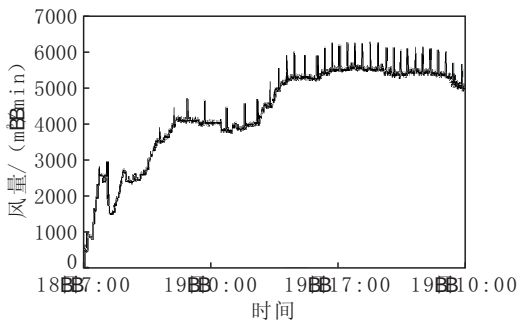


图1 鞍钢1号高炉复风过程风量变化情况

Fig. 1 Changes of Air Volume during Recovery of No. 1 Blast Furnace in Ansteel

为尽快恢复炉缸热量，及时出净渣铁，19日6:00决定集中加焦88 t用于给高炉炉缸提供热量，19日7:00将前期欠的渣量出净，开始加风，后续88 t净焦陆续下达炉缸，平衡好净焦的热量，高炉风量逐渐加全。

3 实践效果

1号高炉应用休风关键技术和复风关键技术，在超计划的长时间休风，且休风料没有补充到位，送风后炉缸严重亏热的情况，通过采取高炉炉内迅速补充热量和优化控制加风节奏，做好炉外高炉休风期间保温等措施，送风期间出净渣铁，实现了复风后36 h恢复至休风前正常生产水平。

4 结语

鞍钢股份有限公司炼铁总厂1号高炉在休风时间长达164 h的情况下，休风后及时采取高炉保温措施，由专人监控巡检减少炉内热量损失，为炉况的快速恢复创造了条件。复风后控制好风量，把握好加风幅度和开风口时机，避免因冷渣铁未出净就大幅加风而引起风压不稳导致的炉况波动。同时，根据送风参数变化开风口的原则，保障了风口回旋区逐渐活跃。渣铁排放是高炉长期休风后顺利恢复的关键。在高炉送风初期，炉缸亏热严重，渣铁流动性差，送风后在风压充足和炉缸积累一定渣铁后开铁口，避免了黏稠的渣铁造成渣铁沟淤积，减少了炉前操作工作量，也保障了加风节奏不被影响，实现了长期休风后高炉生产的快速恢复，值得参考和借鉴。

参考文献

[1] 聂波，李万忠．酒钢7号高炉长期休风及炉况恢复实践[J]．甘肃冶金，2014，36(5)：41-43.
[2] 张寿荣，毕学工．关于大量喷煤高炉的某些理论问题的思考[J]．钢铁，2004，39(2)：8-13.
[3] 唐德元，王洁，王旭．昆钢5号高炉富氧喷煤实践[J]．炼铁，2006，25(5)：35-37.
[4] 胡翔宇，张建良，刘征建，等．原燃料冶金性能对邯钢高炉喷煤的影响[J]．钢铁，2020，55(10)：15-20.
[5] 刘燕军，谢师威，刘迎立，等．多因素对高炉炉渣滞留率的影响[J]．河北冶金，2023(11)：19-24.
[6] 刘彦祥，郭子昱，焦克新，等．基于炉缸渣铁滞留量的高炉炉缸活性研究[J]．炼铁，2024，43(2)：49-55.
[7] 毕忠新，朱建秋．承钢高炉休风和复风关键技术的应用[J]．炼铁，2017，8(1)：41-43.
[8] 郭东．太钢4号高炉炉役后期长期休风后的快速恢复[J]．炼铁，2010，29(5)：24-26.
[9] 岳争超，郭怀魁，柯显峰，等．大冶特钢1号高炉长期非计划休风的快速恢复[J]．炼铁，2024，43(4)：37-41.
[10] 李凤臣，刘二浩，修鹤，等．承钢2500 m³高炉无计划长期休风的快速复风操作[J]．炼铁，2017，36(1)：32-34.

（编辑 查松妍）
修回日期：2025-06-19

* *

《鞍钢技术》版权声明

遵循《中华人民共和国著作权法》，作者向本刊主动投稿（或接受约稿），视为作者将该论文的许可使用权（复制权和发行权）、汇编权、信息网络传播权及其他各种形式出版的使用权等授予《鞍钢技术》编辑部。本刊一次性支付作者的稿酬包含上述各种稿酬。作者应保证论文的原创性、不涉密、不侵权、署名无争议。若发生问题，一切责任由作者承担，文责自负。未经书面许可，任何人及单位不得以任何形式复制、翻印、使用本刊的任何图文。如作者不同意将文章版权交予《鞍钢技术》编辑部，敬请在来稿首页显著位置作出书面声明。

《鞍钢技术》编辑部