包钢 4 000 m^3 级高炉大比例配加湿熄焦生产实践

高靖文,曲玉云,刘 耀,石 钢,魏国良,张敏强

(内蒙古包钢稀土钢板材有限责任公司炼铁厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要:包钢大型高炉大比例配加湿熄焦后,高炉炉况出现波动,产量降低 16.26%,焦比升高 7.23%。通过分析焦炭质量变化、烧结矿冶金性能、入炉有害元素负荷及对应的炉况变化,为下一步大型高炉大比例配加湿熄焦冶炼提供参考。

关键词:高炉;大比例湿熄焦;原燃料;有害元素

中图分类号:TF54 **文献标识码**:B **文章编号**:1009 - 5438(2026)01 - 0026 - 05

Production Practices on Adding Large Proportion of Wet Quenched Coke into 4 000 m^3 Blast Furnace of Baotou Steel

Gao Jingwen, Qu Yuyun, Liu Yao, Shi Gang, Wei Guoliang, Zhang Minqiang

(*Iron - making Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Rare Earth Steel Plate Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: After large proportion of wet quenched coke is added into the large blast furnace of Baotou Steel, there is fluctuation of blast furnace conditions, yield is reduced by 16.26% and coke ratio is increased by 7.23%. The changes of coke quality, metallurgical performances of sinter, load of harmful elements in blast furnace and corresponding changes of blast furnace conditions are analyzed, which could provide references for smelting of adding large proportion of wet quenched coke into large blast furnaces next.

Key words: blast furnace; large proportion of wet quenched coke; raw materials and fuels; harmful element

包钢稀土钢炼铁厂有两座高炉,有效容积 4 150 m^3,高炉冷却形式为全冷却壁结构,其中 7 ~ 11 段为铜冷却壁,采用软水密闭循环冷却。高炉设置平坦化的矩形双出铁场,4 个出铁口,与其配套有两套俄罗斯圆盘法水渣处理系统。热风炉系统配置 4 座卡卢金(Kalugin)顶燃式热风炉,整体装备水平较高。

2021 年 7 月 12 日—8 月 27 日包钢股份煤焦化工分公司焦炉进行检修,期间高炉大比例配加湿熄焦,由于干法熄焦与湿法熄焦系统工艺的差异,湿熄焦在含水量、反应性、反应后强度等指标均有不同程度的下降且波动大,高炉使用湿熄焦后出现较大的炉况波动。本文总结了此次使用湿熄焦后高炉调整过程,对大型高炉大比例使用湿熄焦若干问题及注意事项进行了探讨。

1 基本情况

1.1 湿熄焦与干熄焦性能对比

湿熄焦与干熄焦因生产工艺不同,除焦炭水分相

收稿日期:2025 - 09 - 02

作者简介:高靖文(1984 -),男,内蒙古锡林郭勒盟人,高级工程师,现从事炼铁技术及管理工作。

差较大外,其他指标与干熄焦存在明显差别,对高炉冶炼产生不利影响[1]。干熄焦与湿熄焦性能见表 1。

表 1　干熄焦与湿熄焦性能比较(质量分数)　%

焦炭	M_t	A_d	$S_{t,d}$	CRI	CSR
1#—4#干熄焦	0.20	12.84	0.91	23.09	67.60
1#—4#湿熄焦	3.38	12.87	0.94	24.30	65.70
对比	+3.18	+0.03	+0.03	+1.21	-1.90

通过表 1 可看出,湿熄焦水分大幅升高,灰分升高 0.03 个百分点,硫分升高 0.03 个百分点,变化不大,但湿熄焦热性能变差,反应性升高 1.21 个百分点,反应后强度降低 1.90 个百分点。

2021 年 7 月 12 日煤焦化工分公司焦炉开始检修,高炉开始使用湿熄焦,炉况产生波动,表 2 为高炉使用湿熄焦期间焦炭性能。前期焦炭水分高,平均为 5.72%,水分最高 10.7%,最低 0.9%,标准偏差为 2.77%,焦炭水分及热性能指标波动大。

进入中期,湿熄焦水分有所降低,平均为 3.07%。随着湿熄焦工艺及操作的逐步稳定,水分波动有所降低,反应性及反应后强度均保持稳定。

进入后期,湿熄焦水分降低,但由于受蒙古疫情影响,蒙古煤持续不到货,焦化变配比频繁,造成焦炭性能大幅下滑,焦炭的热性能指标波动大。焦炭性能波动对高炉冶炼带来影响。

表 2　湿熄焦指标及标准偏差(质量分数)　%

日期	M_t	M_t 标准偏差	CRI	CRI 标准偏差	CSR	CSR 标准偏差
7 月 12 日—18 日	5.72	2.77	25.13	1.10	65.58	1.35
7 月 19 日—8 月 19 日	3.07	1.70	23.93	0.68	66.04	0.81
8 月 20 日—8 月 31 日	2.95	1.55	24.88	1.04	64.79	1.31

期间因焦炭不足,8#高炉配加 5#—10#焦炉生产的焦炭,其热性能见表 3。

表 3　5#—10#焦炉焦炭热性能(质量分数)　%

日期	CRI	CSR
8 月 23 日	26.5	63.1
8 月 24 日	27.2	62.3
8 月 25 日	25.4	64.5
8 月 26 日	24.6	65.4

5#—10#焦炉焦炭反应性最高时达 27.2%,反应后强度最低时为 62.3%,远远低于大型高炉对焦炭的要求。

焦炭在高炉中不仅是燃料、还原剂、增碳剂,而且还起着贯穿炉身上下的骨架作用,高炉对焦炭的灰分、硫分、M_{40}、M_{10}、CSR、CRI 等质量指标均有比较严格的要求,并且高炉炉容越大,对焦炭质量的要求越高。在 1#—4#焦炉干熄焦、5#—10#焦炉干熄焦、湿熄焦三种质量差异较大的焦炭入炉的情况下,一方面焦炭水分的不稳定,会造成高炉热制度的失常,恶化炉况;另一方面,湿熄焦及 5#—10#焦炉焦炭的反应性大幅升高和反应后强度大幅度的降低,焦炭热性能变差,会导致高炉料柱透气性恶化,煤气利用变差,影响高炉顺行。休风时,容易风口来渣。

1.2　入炉烧结矿质量

2021 年烧结矿冶金性能见表 4。

表 4　烧结矿冶金性能

时间	T_4/℃	T_{10}/℃	T_{40}/℃	T_s/℃	T_d/℃	$T_d - T_s$/℃	压差/Pa	还原度/%
2021 年 1 月	1 093.3	1 121.3	1 214.8	1 278.3	1 480.4	202.1	10 949	81.4
2021 年 2 月	1 095.2	1 122.0	1 227.4	1 279.7	1 482.3	202.6	10 823	79.7
2021 年 3 月	1 086.8	1 111.8	1 210.4	1 281.0	1 487.7	206.7	11 682	77.4
2021 年 4 月	1 115.1	1 139.0	1 239.4	1 279.6	1 483.6	204.0	10 988	78.4
2021 年 5 月	1 103.4	1 129.3	1 234.7	1 278.6	1 494.9	216.3	12 689	79.2
2021 年 6 月	1 088.4	1 118.6	1 220.6	1 288.9	1 494.4	205.5	12 495	78.2
2021 年 7 月	1 072.8	1 101.3	1 207.5	1 292.0	1 503.0	211.0	13 022	79.0
2021 年 8 月	1 065.6	1 094.7	1 204.9	1 281.9	1 497.2	215.3	13 345	76.4
2021 年 9 月	1 071.5	1 098.6	1 205.3	1 287.8	1 499.5	211.7	12 421	80.1
2021 年 10 月	1 060.3	1 089.0	1 196.6	1 285.3	1 498.4	213.1	12 326	76.9
2021 年 11 月	1 076.6	1 104.8	1 213.2	1 283.9	1 496.6	212.7	12 686	76.7
2021 年 12 月	1 074.8	1 110.0	1 213.2	1 276.9	1 490.7	213.8	12 541	77.9
平均	1 083.7	1 111.7	1 215.7	1 282.8	1 492.4	209.6	12 164	78.4

由表4数据可知,2021年7—8月高炉大比例使用湿熄焦期间,烧结矿冶金性能呈现显著劣化特征,最大压差持续高于13 000 Pa,8月份还原度最低,仅76.4%,直接影响高炉压差控制与顺行稳定性,显著降低煤气利用率;同期烧结矿软化开始温度(T_4)、软化终了温度(T_{10})及熔化开始温度(T_{40})均低于全年平均水平,而软化温度区间($T_d - T_s$)相对较大,导致高炉软熔带变宽,料柱透气性下降,不仅易诱发炉况异常,更对大比例湿熄焦工况下的高炉运行造成叠加负面影响。

1.3 入炉有害元素

2021年,两座大型高炉入炉锌负荷平均达到0.621 kg/t,入炉碱负荷平均为4.13 kg/t。2021年7月,在高炉大幅配加湿熄焦期间,入炉锌负荷维持高位,入炉碱负荷达到4.55 kg/t,全年最高。

表5 有害元素入炉情况 kg/t

时间	钾负荷	硫负荷	磷负荷	锌负荷	碱负荷
2021年1月	2.22	5.05	1.53	0.618	4.47
2021年2月	2.23	4.76	1.47	0.544	4.07
2021年3月	2.11	4.81	1.53	0.512	3.91
2021年4月	2.27	5.00	1.56	0.638	4.19
2021年5月	2.29	4.88	1.52	0.643	4.14
2021年6月	2.17	4.97	1.47	0.687	3.92
2021年7月	2.45	5.25	1.42	0.654	4.55
2021年8月	2.53	5.25	1.24	0.633	4.36
2021年9月	2.41	4.98	1.35	0.596	4.30
2021年10月	2.33	4.82	1.32	0.653	4.03
2021年11月	2.09	4.59	1.43	0.647	3.72
2021年12月	2.25	4.51	1.48	0.627	3.90
平均	2.28	4.90	1.44	0.621	4.13

碱金属和锌的影响及危害主要包括:

(1)催化焦炭气化熔损。尤其是碱金属对焦炭气化熔损反应的催化作用明显,能够提前并加剧CO_2对焦炭的气化反应,缩小高炉间接还原区,扩大直接还原区,进而引起焦比升高,同时由于加剧了焦炭劣化,使焦炭骨架作用被削弱,从而降低料柱特别是软熔带焦窗的透气性。因此碱金属加剧焦炭劣化的作用对高炉冶炼影响很大。

(2)恶化高炉顺行。碱金属和锌蒸气随煤气上升过程中部分冷凝或被氧化成细小颗粒,粘附、沉积在炉料孔隙中,造成料柱透气性变坏;吸附在炉身上部炉衬表面时能导致炉墙结厚、结瘤,造成下料不畅。特别在碱金属富集严重的高炉,焦炭劣化加剧导致料柱透气性变坏,如不适当控制冶炼强度,容易频繁地引起高炉崩料、悬料。另外碱金属和锌的循环过程都伴随着高温区的吸热反应和低温区的放热反应,造成炉内热量从高温区向低温区转移,一定条件下导致高炉渣铁物理热不足,炉缸不活,熔渣黏度升高,也不利于高炉顺行。8月10日,7#高炉休风,从风口处取焦炭,检测其热性能,反应性大幅升高,达到51.8%,反应后强度仅为32.5%,见表6。

表6 7#高炉风口焦热性能(质量分数) %

日期	CRI	CSR
8月21日	51.8	32.5

(3)加剧风口烧损。碱金属和锌蒸气渗入风口区耐火砖会发生反应,造成砖衬膨胀,导致风口二套上翘,炉缸活跃程度下降,严重时出现炉缸堆积,使高炉风口前端接触渣铁的概率加大。此外锌蒸气在风口区域如遇冷却设备漏水,在过冷区域可能冷凝成液体与风口接触,这些都能造成风口局部热流强度快速增加,当超出风口所能承受的最大热流强度值时风口就会熔损[2]。

2021年7—8月,在大比例配加湿熄焦期间,两座高炉共休风9次,更换损坏风口32个,更换大套4个,其中烧坏大套2个,上翘大套2个。频繁的休风,又造成高炉燃料比居高不下。

2 湿熄焦对炉况的影响

由于初期对使用湿熄焦增加带来的影响认识不足,重视不够,虽然进行降负荷,但力度不够,导致炉况波动。

2.1 湿熄焦对产量的影响

7月上旬,高炉日产量达到9 350 t,炉况稳定性好,在开始配加湿熄焦时,高炉负荷从4.07 t/t退至3.95 t/t,负荷仅退2.9%;在重负荷下,高炉风量逐步萎缩,中心气流不足,出现冒尖、管道及悬料。后期因炉况频繁波动,焦炭负荷一度退至3.60 t/t,炉况维持顺行,产量降低至7 830 t/d,产量降低幅度达16.26%。图1为高炉产量趋势图。

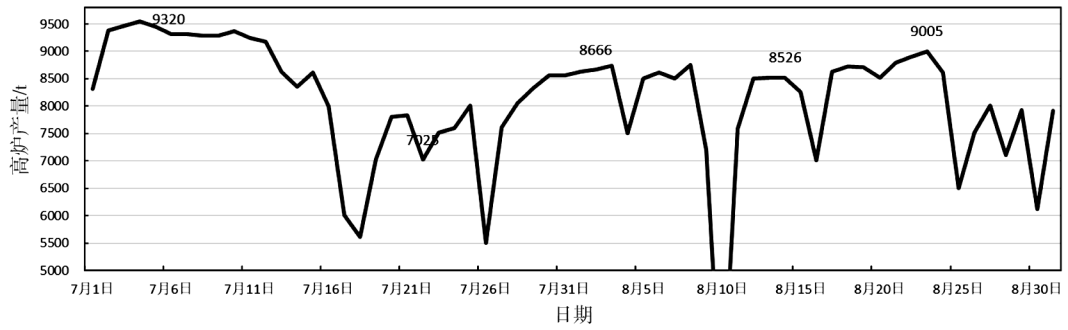


图 1　高炉产量趋势图

2.2　湿熄焦对焦比的影响

7 月上旬,高炉焦比为 401 kg/t,前期因焦炭水分控制不稳定,高炉出现了波动,焦比持续升高,达 500 kg/t,后期经过退负荷至 3.65 t/t,增加了料柱透气性,炉况维持一定顺行,焦比降低至 430 kg/t。图 2 为高炉焦炭负荷趋势图,图 3 为高炉焦比趋势图。

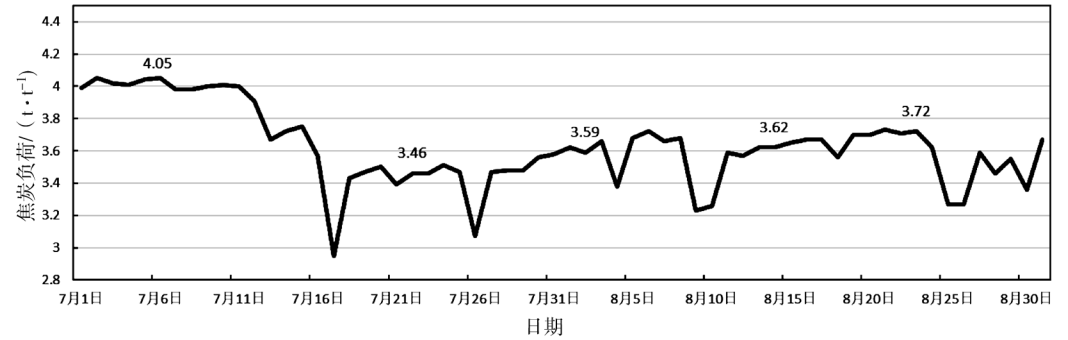


图 2　高炉焦炭负荷趋势图

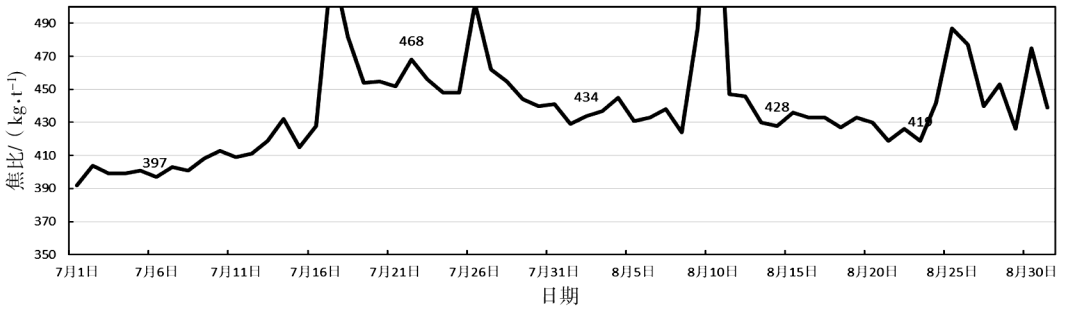


图 3　高炉焦比趋势图

2.3　湿熄焦对煤气利用率的影响

在全干焦冶炼条件下,高炉煤气利用率维持在 44% 以上,但随着湿熄焦比例增加,料柱骨架作用逐步减弱,高炉压力、压差逐步升高,高炉抗波动能力减弱,在装料制度上,采取同缩矿焦角度,增加中心焦圈数,大幅开中心,导致煤气利用率降低至 40% 左右。图 4 为高炉煤气利用率趋势图。

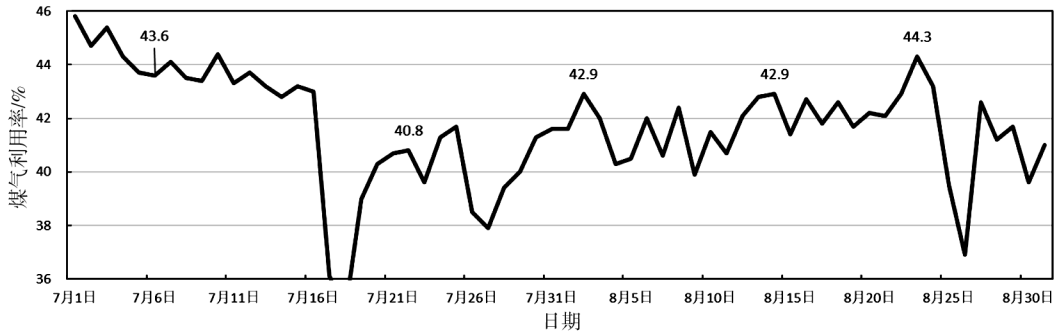


图 4 高炉煤气利用率趋势图

3 结论

(1)大型高炉大比例配加湿熄焦冶炼时,高炉管理者及操作者要在思想上高度重视,不能单一追求产量,应及时退负荷、降强度,以高炉稳定顺行为第一位。

(2)大比例配加湿熄焦时,焦炭质量大幅降低,料柱骨架作用减弱,这时应提高烧结矿质量,尤其冶金性能,并控制有害元素入炉,减轻烧结矿质量降低与湿熄焦负面影响的叠加效应。

参 考 文 献

[1] 曹锋. 长钢 1 080 m^3 高炉干湿熄焦转换冶炼实践[J]. 中国钢铁业,2019(3):46 – 47.

[2] 张伟,王再义,张立国,等. 高炉中碱金属和锌的循环及危害控制[J]. 鞍钢技术,2016(6):9 – 14.

(上接第 21 页)

[9] 陈家灵,谢海云,张培,等. 磷石膏治理重金属废水的研究进展[J]. 矿冶,2022,31(5):80 – 87.

[10] 刘文丽,邹冬雪,张荣,等. 絮凝剂在降低选矿尾矿水中悬浮物含量的应用[J]. 包钢科技,2021,47(4):13 – 16.

[11] 冯秀娟,刘祖文,朱易春. 混凝剂处理选矿废水的研究[J]. 矿冶工程,2005,25(4):27 – 29.