

承德建龙 1 号高炉炉况波动分析及策略

强超¹ 魏国新² 周一波² 董宝华² 付玉华²

1. 河北省半钢水冶炼高洁净高品质特殊钢重点实验室 河北承德 067300

2. 承德建龙特殊钢有限公司 河北承德 067300

摘 要: 承德建龙 1 号高炉于 2024 年 3 月初发生炉况波动, 通过了调整布料制度, 配加锰矿石洗炉后炉况改善效果不明显。后通过配吃普矿、改单环布料改善煤气流分布、活跃炉缸后炉况逐步好转, 由于焦炭库存紧张高炉变焦频繁, 高炉焦负荷波动大, 炉温控制困难, 供应处应加强焦炭采购管理, 保证合理库存, 为高炉顺行创造条件。本文就炉况波动原因进行分析, 建立并逐步完善铁前精细化管理体系, 以提高生产稳定性。

关键词: 高炉; 焦炭; 碱锌负荷; 精细化管理

1 概述

承德建龙 1 号高炉大修后于 2018 年 12 月 12 日投产, 炉容为 1350 立方, 进行钒钛冶炼。高炉炉底采用微孔碳砖加陶瓷杯结构, 炉体配置有完善的炉温、压力、流量检测点及炉身静压检测装置、炉顶红外摄像仪器等主要检测项目, 协助高炉管理者和操作者把控。高炉配备有 3 座旋切顶燃式热风炉, 采用串罐式无料钟炉顶, 2 个铁口, 22 个风口, 水渣系统采用明特法。

2 炉况失常的三个阶段

2.1 第一阶段

2 月份 1# 高炉炉况运行平稳, 进入 3 月上旬后炉况逐渐变差, 顺行情况变差, 各项技术经济指标下降, 冷却壁温度波动加剧。压量关系紧张, 高炉接受风的能力下降, 气流不稳定, 煤气利用率下降, 综合焦比上升, 炉底中心温度降低, 上部料制调整效果不明显。

2.2 第二阶段

3 月 10 日 -17 日炉况失常, 炉况波动 11 次, 气流不稳 1 次, 翻料 9 次, 悬料 1 次。主要表现: 压量关系紧张, 高炉适应能力变差, 频繁出现管道气流, 焦比大幅度升高, 顶压、顶温冒尖, 料速不均, 翻料、悬料, 炉温波动幅度大, 不易控制。

2.3 第三阶段

3 月下旬经过厂部领导及技术人员多次研讨确定调整思路。(①调整上部料制, 疏导两股气流, 降低压差; ②改善入炉原料条件, 改钒钛矿为普矿, 提高炉渣镁铝比由 0.6

至 0.65, 确定渣中铝加钛红线 27% 以内改善渣铁流动性, 加强入炉碱金属的控制; 降低烧结矿除尘灰配吃比例, 降低入炉碱负荷由 4.29kg/t 降低至 4.0 以下 kg/t, 入炉锌负荷由 0.64kg/t 降低至 0.43kg/t 以下。③通过调整焦炭结构, 减少二级焦比例改善入炉焦炭质量; ④提高管理水平, 加强炉内外配合, 炉前采取零间隔出铁, 及时出尽渣铁, 减少炉内憋压。) 通过多种措施改善炉缸的工作状态, 炉况逐步好转。

3 炉况失常的处理

3 月 5 日开始出现静压力波动, 煤气利用降低现象。3 月 6 日 -3 月 7 日通过矿带由 $\begin{matrix} 37.5 & 35.5 & 33.5 & 31.5 \\ 4 & 3 & 2 & 3 \end{matrix}$ 缩小至 $\begin{matrix} 36 & 34 & 31.5 \\ 3 & 4 & 3 \end{matrix}$, 疏通边缘气流。焦炭负荷由 4.2 调整为 4.1, 同时配加锰矿石 2.5% (Mn(%): 23-34), 改善渣铁流动性。3 月 7 日煤气利用 42.35%, 利用系数等指标逐步恢复正常。3 月 8 日停配锰矿石, 逐步提高焦炭负荷后白班发现 16# 风口小套有漏水现象, 对小套进行控水操作。3 月 9 日炉内气流出现变化, 憋风憋压并伴随翻料情况, 中心气流显弱, 中班采取调整焦炭结构由一级 57%+ 准一 38%+ 二级 5% 调整为一级 62%+ 准一 38%, 全天煤气利用率下滑至 40.48%, 利用系数降至 2.55。3 月 10 日炉况继续恶化, 退矿批到 38 吨, 同时配加锰矿洗炉, 增加中心焦圈数由

$\begin{matrix} C & 38.5 & 36.5 & 34 & 31.5 & 28 & 15 \\ & 4 & 3 & 2 & 2 & 1 & 5 \end{matrix}$ 调整 到 $\begin{matrix} C & 38.5 & 36.5 & 34 & 31.5 & 28 & 15 \\ & 4 & 3 & 2 & 2 & 1 & 6 \end{matrix}$, 但效果不明显。

表 1 高炉 3 月上旬主要指标

日期	利用系数 (t/m ³ ·d)	风量 (Nm ³ /min)	富氧量 (Nm ³ /h)	热压 (KPa)	煤气利用率 (%)	焦比 + 焦丁比 (kg/t)	煤比 (kg/t)	燃料比 (kg/t)	透气性
3 月 1 日	2.93	3360	13759	402	42.59	402.13	123.31	525.43	19.09
3 月 2 日	2.81	3340	13694	403	42.18	417.92	103.03	520.95	18.76
3 月 3 日	2.79	3332	12968	402	41.97	415.86	105.49	521.35	18.93
3 月 4 日	2.66	3234	10848	391	41.05	414.92	107.05	521.97	19.02
3 月 5 日	2.56	3156	10065	383	40.53	431.06	85.72	516.77	18.79
3 月 6 日	2.66	3343	12465	402	41.74	443.47	69.29	512.77	18.99
3 月 7 日	2.84	3374	14351	400	42.35	425.19	93.00	518.19	19.50
3 月 8 日	2.71	3343	12854	404	41.15	423.13	96.04	519.17	18.78
3 月 9 日	2.55	3226	10421	406	40.48	428.31	88.55	516.86	17.53
3 月 10 日	2.04	2867	3847	350	39.47	458.97	90.21	549.18	18.62

表 2 高炉布料制度调整跟踪

时间	矩阵情况	批重	负荷
3 月 5 日	C O	43	4.2
3 月 6 日	C O	43(锰矿石 2.5%)	4.1
3 月 7 日	C O	43(锰矿石 2.5%)	4.1
3 月 8 日	C O	43	4.2
3 月 9 日	C O	40	4.0
3 月 10 日	C O	38(锰矿石 2.5%)	3.8

3 月 11 日悬料减风坐料一次炉况进一步恶化，为尽快

回复炉况炉部决定减少钒钛矿的配吃量，开始配吃 25% 普

矿，同时采用单环料制 $C \begin{smallmatrix} 28 \\ 12 \end{smallmatrix} \quad O \begin{smallmatrix} 26 \\ 10 \end{smallmatrix}$ ，退全焦负荷来增加入炉风量，矿批退至 32 吨配加 2.5% 锰矿石，活跃炉缸。至 12 日白班炉况仍未出现好转趋势，继续加大普矿配吃比例至 75% 后，料柱透气性逐步得到改善。在此期间，将锰矿石和萤石以集中 + 分批配吃方式对炉缸进行了热洗，布料制度方面将布料角度改回多环。3 月 17 日根据炉况走势和中心气流变化，将布料制度恢复至原料制，各项操作参数逐渐恢复正常。

表 3 高炉 3 月中旬主要指标

日期	利用系数 (t/m ³ ·d)	风量 (Nm ³ /min)	富氧量 (Nm ³ /h)	热压 (KPa)	煤气利用率 (%)	焦比 + 焦丁比 (kg/t)	煤比 (kg/t)	燃料比 (kg/t)	透气性
3 月 11 日	1.75	2659	619	308	39.80	529.76	26.38	556.14	18.47
3 月 12 日	1.96	3087	42	339	42.74	528.30	3.46	531.77	19.92
3 月 13 日	2.07	3212	658	362	43.65	470.74	41.52	512.26	19.59
3 月 14 日	2.44	3312	4099	379	43.74	444.69	77.80	522.49	19.95
3 月 15 日	2.27	3202	2472	355	43.96	462.92	70.56	533.48	20.39
3 月 16 日	2.32	3170	5087	352	43.69	479.19	34.46	513.65	20.45
3 月 17 日	2.60	3257	6992	369	41.86	436.04	75.93	511.97	20.88
3 月 18 日	2.55	3288	9237	378	42.05	455.48	52.30	507.78	20.42
3 月 19 日	2.64	3288	9389	372	41.79	451.87	61.96	513.83	21.35

表 4 高炉布料制度调整跟踪

时间	矩阵情况	批重	负荷
3月11日	C O	32(锰矿石 2.5%)	3.2
3月12日	C O	34(锰矿石 2.5%)	3.6
3月13日	C O	38(锰矿石 2.5%)	4.0
3月14日	C O	40 (萤石 1.0%)	4.0
3月15日	C O	40 (萤石 1.0%)	4.0
3月16日	C O	41	4.1
3月17日	C O	43	4.2

表 5 烧结矿普矿和钒钛矿成分对比

原料成分	TFe(%)	SiO ₂ (%)	CaO(%)	MgO(%)	Al ₂ O ₃ (%)	P(%)	TiO ₂ (%)	V ₂ O ₅ (%)	R ₂
烧结矿钒钛矿	55.10	4.88	9.81	2.67	1.96	0.11	1.63	0.34	2.01
烧结矿普矿	55.36	5.2	10.28	2.96	2.21	0.0903	0.53	0.151	1.98

4 炉况失常的原因

4.1 焦炭

梳理 2024 年高炉入炉焦炭主要质量指标如下：

表 6 焦炭质量指标

月份	CRI	CSR	CLR	CSI	A
1 月份	26.09	64.32	44.00	43.75	12.90
2 月份	24.69	64.87	43.15	43.70	12.87
3 月份初	22.71	66.87	42.32	42.42	12. 86

整体看 3 月初焦炭 CRI、CSR 及 CLR 水平较 1 月份和 2 月份好，CSI 较 1 月份和 2 月份差。进入 3 月后因市场供货问题，焦炭库存紧张，造成高炉入炉焦炭频繁变焦，仅 3 月份变焦次数就高达 28 次。通过对焦炭质量排查分析，本次炉况失常中准一级焦质量下滑，整体粒度偏小，导致料柱透气性变差，炉缸活性降低，炉缸中心死焦堆变大，造成炉缸中心堆积。

4.2 鼓风动能降低

压量关系紧张，风量偏小，为维持平稳的压量关系、稳定炉况，风压使用偏低，造成鼓风动能下降，风吹不到中心，加剧了炉缸堆积。为发展中心气流开透中心，料制多次调整都达不到想要的结果，反而造成中心、边缘气流都受阻发生悬料，造成恶性循环。

4.3 高炉碱锌负荷

2024 年 2 月中旬开始入炉碱锌负荷均呈上升趋势：3 月 10 日最高值达到 4.29kg/t，碱负荷虽整体保持在红线范围内，但远超行业控制标准；锌负荷 3 月 7-10 日超红线控制标准，最高值达到 0.64kg/t，远超行业控制标准。

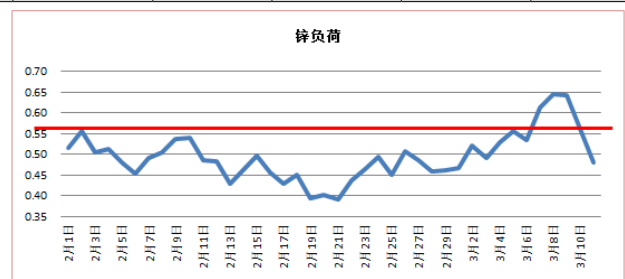


图 1 高炉入炉锌负荷

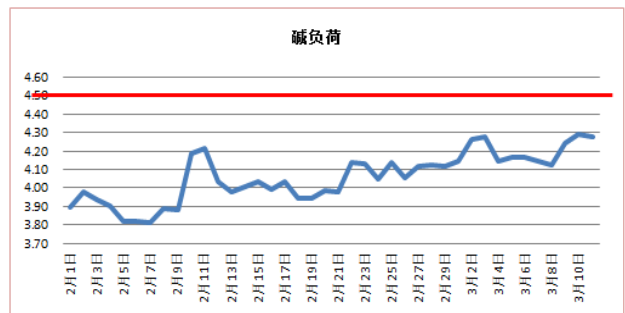


图 2 高炉入炉碱负荷情况

推断本次炉况波动的主要原因为入炉焦炭质量逐步恶化，导致炉缸焦堆透气透液性变差；同时入炉碱锌负荷逐步上升，劣化炉内焦炭质量，加剧炉缸焦堆透气透液性变差进程，最终形成炉缸中心堆积。

从以上特征分析，本次炉况失常为炉缸堆积。形成炉缸堆积的主要原因有：

- 原燃料质量变差，炉缸透气透液性变差；
- 长期慢风操作，鼓风动能不足；
- 渣铁成份不合理；
- 冷却设备漏水。

5 应对策略

为提高炉况稳定性，炼铁厂已从稳定入炉原燃料质量、

入炉原燃料红线管理、日常操作标准化定量化及工艺基础管理等方面着手,建立并逐步完善铁前精细化管理体系,以提高生产稳定性。

5.1 原燃料质量管控

对入炉原燃料质量管理进行前置管理、细化入厂管控标准、规范取制样过程,提高质量指标检测频次,保证原燃料检验数据准确等,提高入炉原燃料质量精细化管理水平。

5.1.1 原燃料入厂管理

5.1.1.1 稳定铁粉进厂节奏

①每周钒铁技术质量例会确定配料结构,炼铁厂根据配料结构核算各户铁粉日消耗量,供应处根据日消耗量制定各户铁粉采购计划,并严格执行,确保垛位规整,消减搭界料成份波动对生产及球矿质量的影响;

②配料结构一旦确定,无特殊情况,下次钒铁工艺质量例会前不允许变料;如特殊情况必须变料时,技术室根据配料结构重新核算各户铁粉日消耗量,并反馈到供应处和技术处,供应处根据日消耗量调整各户铁粉进厂节奏;

5.1.1.2 稳定焦炭进厂节奏

①根据焦炭厂家走访结果,确定后续焦炭户种,逐步减少焦炭户种 ≤ 6 种;

②每周钒铁质量例会确定例会高炉焦炭结构,炼铁厂根据配料结构核算各户焦炭消耗量,供应处供应处根据日消耗量及库存情况,制定各户焦炭采购计划,并严格执行,确保不发生焦炭采购不及时导致变焦现象的发生;

③生产过程如遇调整炉况需调整焦炭结构时,炼铁厂及时将调整后结构及日消耗量提供给供应处及技术处,供应处根据日消耗量及库存情况调整各户焦炭进厂节奏;

5.1.2 进厂质量管理

5.1.2.1 铁粉质量

①钒钛粉品位、 SiO_2 、 TiO_2 及碱锌元素等关键指标连续2天超出控制标准,反馈给供应处,供应处督促矿山整改,连续4天超出控制标准,停发整改,合格后方可进厂;

②已进厂卸车的超标铁粉,炼铁厂结合技术处调整配比,最小量消化,消减对生产的影响;

③新户铁粉进厂,配吃前进行基础性能检测及五害元素检测,五害元素不超标的条件下,根据基础特性制定配矿方案,并进行烧结杯实验验证,确定最终方案后方可进行生产应用;

5.1.2.2 焦炭质量

①反应后强度等关键指标达不到内控标准的焦炭,按焦炭关键指标预警标准及管控方案执行,消减焦炭质量变化对炉况的影响

②新户焦炭进厂,配吃前进行高温性能检测及五害元素检测,五害元素不超标的条件下,根据高温性能制定实验方案,按10%初始比例进行实验,并按5天为一周期、5%的步长提高配比,根据炉况运行确定最终配吃比例;

5.1.2.3 取制样管理

技术室每月对所有进厂物料取制样过程跟踪1次,并抽查监控,对不按规范进行取制样的行为进行通报考核。

5.2 红线管理

1、入炉锌负荷 $\leq 0.55\text{kg/t}$ 、碱负荷 $\leq 4.5\text{kg/t}$,以此制定入炉原燃料钾钠锌含量控制红线标准,超出红线标准,及时调整配料结构。

2、高炉炉渣($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$) $\leq 27\%$,超出红线标准,高炉临时上提5-10%外购球比例,同时调整配料结构,待炉渣($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$)降至红线范围内恢复外购球比例至正常水平。

3、制定原燃辅料质量分级预警,高炉精细化管理、标准化操作与原燃料质量结合。

5.3 操作标准化、定量化

1、建立焦炭质量变化应对方案,制定焦比调整核算表,根据自身冶炼过程参数变化,量化焦炭质量变化时高炉调剂,消减焦炭质量变化对炉况的影响。

2、建立炉况调整台账,对比分析每次调整效果,提高调整精准性,实现标准化作业、定量化调剂,消减调剂不当对炉况的影响;

3、细化休复风操作,完善休复风方案及异常情况应对措施,形成固化操作。

5.4 工艺基础管理

1、完善原燃料冶金性能检测台账,跟踪不同配料结构下烧结矿熔滴性能、还原性、低温还原粉化指标、球团矿还原膨胀率,指导配矿调整;跟踪焦炭高温熔损性能,指导配焦调整,降低原燃料冶金性能变化对炉况的影响。

2、完善工艺技术管理清单,规范各区域工艺操作及技术管理。

3、优化焦炭高温熔损检测标准,真实反映焦炭质量,

指导配焦调整。

6 总结

(1) 由于焦炭库存紧张高炉变焦频繁,高炉焦负荷波动大,炉温控制困难,供应处应加强焦炭采购管理,保证合理库存,为高炉顺行创造条件。

(2) 本次炉况波动演变为炉况失常的过程中,高炉应对措施相对滞后,造成炉缸堆积进一步恶化。在炉况波动初期炉底板温度大幅降低时,首先应保证铁水物理热以及渣铁流动性,必要时果断加锰矿洗炉,及时排净渣铁。其次炉缸堆积进一步加剧导致炉况频繁波动时,应降低钒钛矿的配吃比例快速回复炉缸状态。总之保持炉缸的活跃状态是高炉顺

行的基础,日常工作中要加强对炉底板温度变化趋势的跟踪。另外处理炉缸问题时一定要稳扎稳打,把握好加风节奏,切勿贪功冒进,造成炉况反复。

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,2018.

[2] 王筱留.高炉生产知识问答(第2版)[M].北京:冶金工业出版社,2011.

作者简介: 强超(1988-),男,汉族,河北唐山人,本科,炼铁工程师,研究方向为高炉冶炼。