



华菱涟钢
VALINLY STEEL

涟钢8号高炉中修全焦开炉生产实践

华菱涟钢 曾飞骏

2021 年 4 月

目录

CONTENTS

01 Part 01
前 言

02 Part 02
开炉配料工作

03 Part 03
快速试压检漏

04 Part 04
装料技术改进

05 Part 05
送风控制及出铁

06 Part 06
达产情况及效益

07 Part 07
结 语

PART 1 前言

涟钢8#高炉（2800m³）于2020年12月13日14:10停炉中修，主要项目包括放残铁、扒炉、更换部分铜冷却壁（共74块）、炉缸整体浇筑、铜冷却壁及炉顶封罩喷涂、炉顶料罐升级更换等项目，于2021年1月7日17:38分顺利点火开炉。共历时25.15天。其中零放散停炉、全焦开炉、高温装料、深料线送风等技术应用为本次中修节约了**72h**以上工期。开炉三天达产达效。

表一 开炉各项技术经济指标

日期	日产量（t/d）	系数（t/m ³ .d）	燃料比（kg/t）	煤比（Kg/t）	风量（m ³ /min）	备注
1月8日	829.85	0.30			3047	休风一次
1月9日	3294.17	1.18	666.13	107.22	4153	
1月10日	7049.04	2.52	512.54	122.52	5282	
1月11日	7504.13	2.68	508.77	145.32	5428	
1月12日	7003.34	2.50	517.92	150.92	5023	休风一次
1月13日	8227.43	2.94	508.71	144.47	5550	
1月14日	8280.90	2.96	515.45	151.73	5522	
1月15日	8210.12	2.93	516.88	155.72	5525	
1月16日	8228.27	2.94	508.63	152.18	5530	

全焦开炉选择的考虑

目前高炉普遍采用的开炉方式主要有两种：枕木填充和全焦填充。在国内两种方式开炉都能达到预期效果，我们通过分析对比，结合涟钢自己的实际情况（从工期、公司年度经营等考虑），决定本次中修采用全焦方式开炉。

全焦开炉优点



节约成本

减少枕木450m³,节约成本50万元，还有利于低碳环保。



缩短工期

不装枕木，减少凉炉、开炉顶检修孔、拆烘炉导管、拆装及回装风口装置及装枕木时间共计50多小时，时间就是金钱。



降低人工劳动强度

取消装枕木、拆装回装风口装置等高强度人工劳动。

全焦开炉选择的考虑



全焦开炉技术难点



着火难

送风初期需要较高的点火温度，否则焦炭难以着火



炉缸热量不足

送风初期炉缸冷焦炭置换慢，上部加热的焦炭难以快速进入炉缸，炉缸热量不足。



下降空间不足

开炉初期风量小，消耗焦炭体积小于枕木体积，炉料下降空间不足，下料呆滞或悬料。



料柱透气性恶化

开炉初期料速慢，炉料水分排出困难，炉料板结，透气性恶化。

大型高炉全焦开炉在涟钢尚属首次，面临较大的挑战，但通过精心准备，从配料、装料、送风操作等多方面进行探索创新，克服了大型高炉全焦开炉的技术难点，取得了良好效果。

PART 2 开炉配料工作



2.1 开炉配料工作要求

一是要求保证原燃料质量及检化验数据准确为高炉精确配料创造条件；二是选择合适总焦比及各段焦比；三是通过计算严格控制全炉（扣炉芯焦等）及各段炉渣成分，优化改善炉渣性能，为顺利开炉提供前提保障。

- ◆ 焦炭、烧结矿、块矿、球团等主要原燃料就地使用涟钢目前炉料，其粒度组成按照平时正常生产要求。
- ◆ 硅石、优质锰矿、石灰石、白云石等辅助矿石或熔剂的粒度要求： $25\text{mm} < \text{粒度} < 45\text{mm}$ 。

2.2 开炉原燃料的化学成分

表二 涟钢8号高炉开炉原料成分及堆比重

组成	Tfe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	S	P	堆比重
名称	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(t/m ³)
烧结矿	57.288	9.14	5.06	1.87	10.04	1.74	0.25	0.0064	0.06	1.75
硅石	0	0	97.59	1.12	0.31	0	0	0	0	1.64
锰矿	17.02	9.21	15.94	6.6	8.08	6.99	15.2	0.367	0.02	1.65
石灰石	0	0	0.6	0.13	50.69	0	0.076	0.031	0.005	1.62
白云石	0	0	1.2	0.18	32.41	21.2	0	0.021	0.005	1.6
焦炭	0.65	0	6.11	4.86	0.623	0	0		0.65	0.53
球团	62.8	3.4	5.65	1.15	1.96	0.4	0.3	0.01	0.04	2
块矿	63	0	3	1.67	0.5	0.08	0.14	0.7	0.016	2.09



2.3 相关配料参数的选择

开炉配料相关参数选择是：总焦比3.2t/t.p，正常料焦比800kg/t.p；正常料和空焦碱度 $R_2=1.05$ ；焦批15t(按照炉喉500mm、炉腰200mm的厚度确定)。

表三 涟钢8号高炉开炉渣铁比及焦比情况表

装料部位	理论出铁量/ t	理论出渣量/t	焦炭装入量/t	渣铁比	焦比t/t.p
一、死铁层	焦炭		210		
二、炉 缸	焦炭		360		
三、炉 腹	1.95	93.4	270	47.9	138.46
四、炉腰炉身下	57.8	130.1	270	2.25	4.67
五、炉身中下	76.1	113.4	225	1.49	2.96
六、八炉身中上	262	174	225	0.66	0.86
七、炉身上炉喉	112	73.3	90	0.65	0.8
全炉扣炉芯	511.7	592	1200	1.16	3.21



2.4 渣量的选择

国内高炉在开炉渣量选择方面有**低渣比**和**高渣比**两种方式，两种方式开炉都有取得很好开炉效果的经验。涟钢在参考国内外先进企业经验的同时，结合自身的生产实践，本次中修开炉选择**高渣比**开炉。

开炉（按照静态装满料计算）全炉铁量**511.7吨**，渣量**592吨**，渣铁比**1160kg/t.p**。



2.5 炉渣成分控制

为了确保开炉料炉渣性能，不仅对全炉炉渣成分(扣炉芯焦炭,包括死铁层、炉缸非循环区、风口以上死焦柱焦炭的造渣量)严格控制，而且对各段炉渣成分也做出严格的要求。

表四 开料料炉渣成分要求					
装料部位	焦比	Al_2O_3	MgO	R_2	R_4
炉 腰				1.05	
炉身到炉喉		≤ 15	9-11	1.05	0.93-1.05
全 炉	3.2	≤ 15.5	8.5-11	0.90-0.95	0.82-0.85
全炉扣炉芯	2.35	≤ 14	9-11	1.05	0.93-1.02



2.5 炉渣成分控制

各段炉渣成分见表五

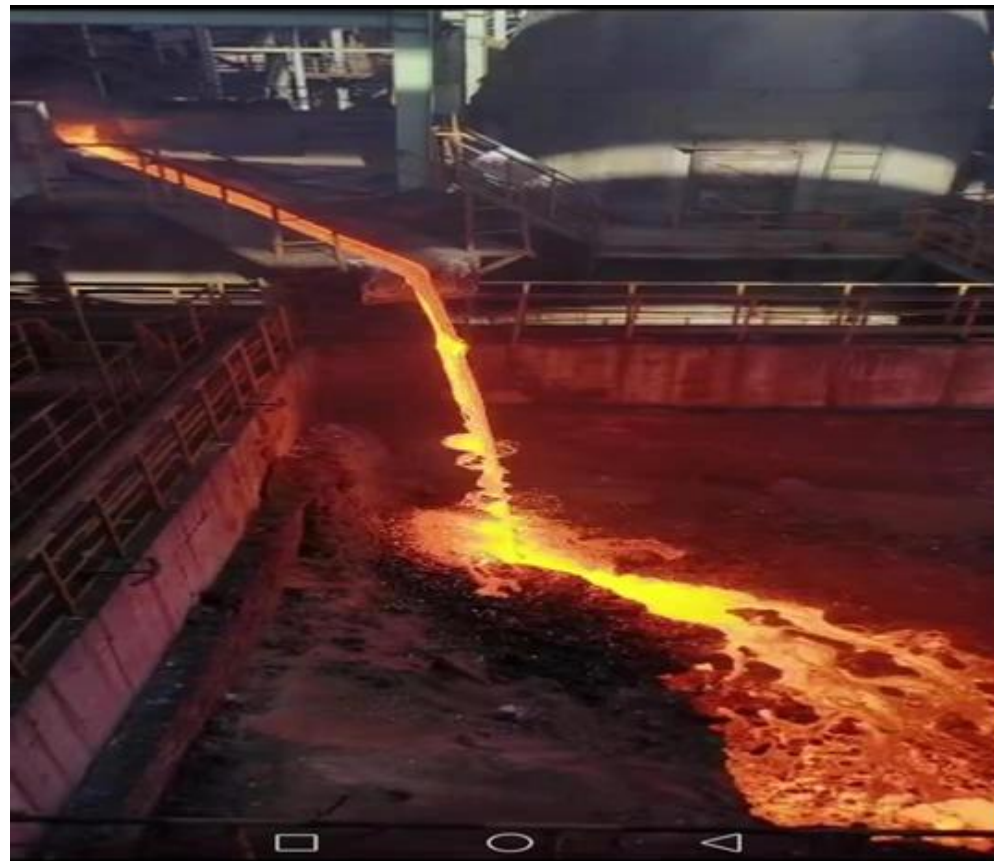
表五 炉料填充各段实际炉渣成分计算								
装料部位	理论出渣量/t	渣铁比	炉渣成分					
			CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	R ₂	R ₄
一、死铁层								
二、炉 缸								
三、炉 腹	93.4	47.9	36.97	34.35	14.63	10.21	1.07	0.96
四、炉腰炉身 下	130.1	2.25	38.09	36.18	11.99	9.89	1.05	1
五、炉身中下	113.4	1.49	38.04	36.16	12.35	9.59	1.05	0.98
六、八炉身中 上	174	0.66	38.6	36.77	11.99	8.78	1.05	0.97
七、炉身上炉 喉	73.3	0.65	38.69	36.89	11.78	8.8	1.05	0.98
全炉扣炉芯	592	1.16	37.68	35.94	13.24	9.3	1.05	0.96

2.6 实际出渣情况

实际炉渣成分与配料计算基本相符，炉渣流动性很好。

表六 8#高炉开炉初期炉渣成分

取样时间	MN	AL2O3	MGO	R2	R4	备注
2021-1-8 10:30:41	0.2559	13.1425	8.0684	1.1105	1.0475	
2021-1-8 11:15:05	0.25	13.001	7.913	1.1498	1.0757	
2021-1-8 21:21:03	0.5452	15.2518	7.9507	1.0291	0.879	
2021-1-9 06:32:18	0.119	18.523	8.157	1.3062	0.9846	炉温升高快， 碱度偏高



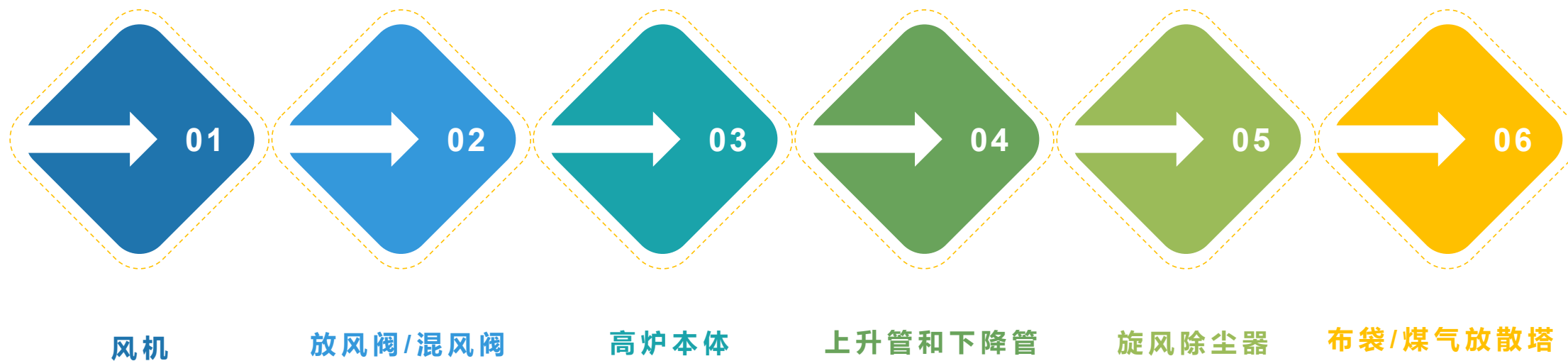
PART3 快速试压检漏



3.1 快速检漏试压流程

高炉中修更换了冷却壁、炉顶料罐，布袋处理部分阀门，以及开炉煤气通过放散塔放散，整个高炉系统需进行试压检漏。气体流向如下图。

分三次检漏，在烘炉**恒温**阶段即开始试压检漏，分步检漏但集中休风处理。





3.2 试压检漏试相关参数

表七 试压检漏相关参数					
	风量 (m ³ /min)	冷风压力 (KPa)	顶压 (KPa)	时间	备注
第一次	2850	108	50	8:56 ~ 9:30	无大漏点
第二次	3800	292	200	9:32 ~ 9:55	无大漏点
第三次	4600	365	245	10:10 ~ 10:43	只有小漏点休风处理

高炉系统开炉生产至今没有煤气泄漏，试压检漏效果良好。

PART4 装料技术改进



4.1 高温装料

检漏处理完毕不等温度下降随即装料。试压检漏到休风处理仅仅耗时4h,比传统方式大幅缩短工期。加上全焦开炉省去了凉炉、拆卸风管、风口二套、小套、装入枕木、再回装风口小套、二套等步骤,比传统枕木+木材开炉节约时间50h。再加上封闭炉顶全自动不间断快速装料,深料线送风等措施(装料仅耗时6h)。合计节约工期**72h**以上,经济效益显著。



4.2 关于料面测量的考虑

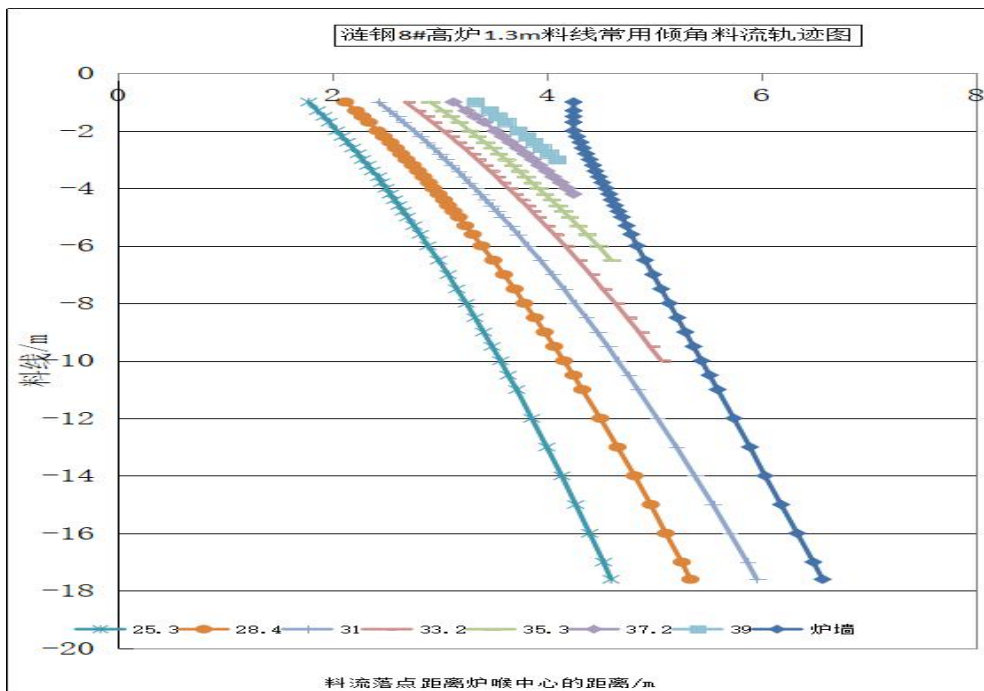
为保证精确布料，一般高炉开炉会对布料参数进行装料测量。

8#高炉本次中修炉顶料罐及钢结构进行了升级改造，更换了中心喉管、阀门箱、溜槽等，中修之前的下料闸开度与流量的曲线已经不能适应新设备的需要。如果通过实际装料，获取数据再确定料流曲线，必将消耗大量时间。为此采取预置下料闸开度与流量曲线(因为是新设备，流量按照略低于中修前预置)。通过程序自学习，不断更新数据，逐步获得合理的下料闸开度与流量曲线，节省了料流曲线测定时间。



4.3 料流轨迹计算布料倾角设定

封闭装料下，为保持正常料面形状，形成合理的矿焦料层结构。先准确计算料流轨迹，再参照料流轨迹确定不同料线的装料矩阵，特别是边缘起始最大角度的确定。其中死铁层及炉缸料流落点必须距离边缘2m以上以避免焦炭打击风口。料线到达4m以内按照正常生产时候设定的补偿角度上料。



表八 不同料线装料的最大起始角度

料线/m	≥29	29-25	25-21	21-18	18-15	12月15日	12月9日	9月6日	6月4日	4-1.3
部位	死铁层	炉缸	炉腹	炉腰-炉身下	炉身中下	炉身中下	炉身中	炉身中上	炉身上	炉身上-炉腹
最大布料角度/°	20	20	27	29	30.5	32	32.8	34	37	设定



4.4 深料线补偿技术

涟钢8#高炉本次开炉采取12m料线深料线送风点火，深料线必须准确的料线补偿，从而保持合理的料面形状及矿焦分布，使料层分布稳定合理，满足高炉气流分布的要求。因此送风后布料倾角按照计算料流轨迹根据料面高度确定，深料线送风有如下优势。

优势1：增加风量

中修开炉后，送风初期因料柱较薄能够减少料柱阻力增加初始风量。

优势2：提高透气性

带风装料吹出炉料中的部分粉末和水分，同时蓬松带风装料部分的料柱，提高料柱透气性。

优势3：缩短工期

减少装料时间缩短工期。

PART5 送风控制及出铁



5.1 送风参数控制

前期控制送风比在0.5左右，维持较低压差，用时间换空间。择机下拉料柱，破除料柱水气结块。相机加风提压，逐步回到正常水平。随着风量增加，逐步加重焦炭负荷，出铁出渣、富氧喷吹，步入正常冶炼进程。

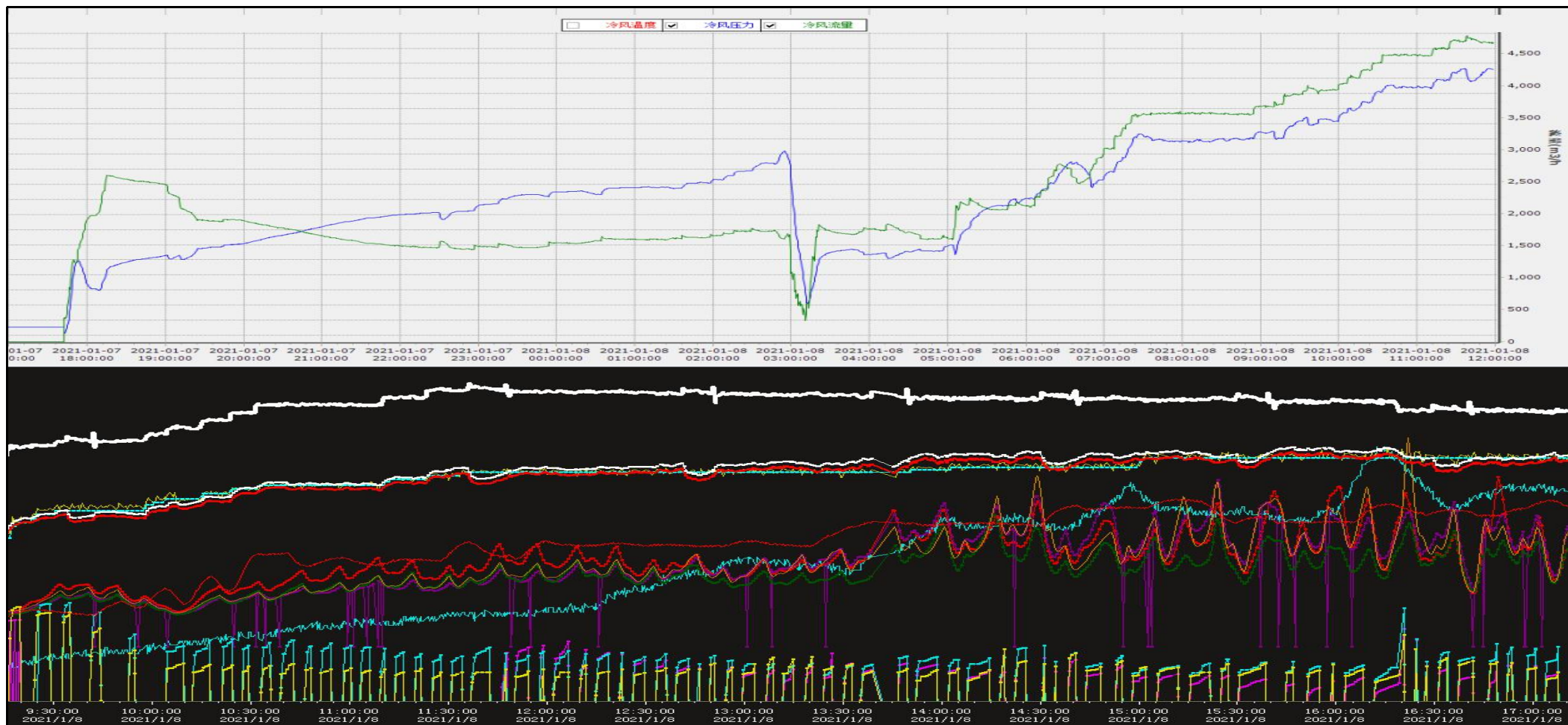
表九 送风后主要操作参数

日期	时间	冷风流量	冷风压力	热风压力	顶压	压差	热风温度	炉顶温度	备注
		m ³ /min	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	(°C)	(°C)	
1 月 7 日	18:10	2580	90	86	3	84	887	93	初期上风较快
	20:00	1771	133	131	27	104	794	47	19:35 煤气走放散塔， 顶压 30kp;
	21:00	1562	153	152	27	125	835	49	
	23:00	1490	182	181	32	149	884	53	
1 月 8 日	0:00	1573	192	190	43	147	885	77	0:40 送煤气进管网
	1:00	1613	198	196	56	141	901	196	1:50 开始加湿
	2:00	1698	221	220	79	141	902	258	2:56 第一次悬料； 拉风一次，但料未动；
	4:00	1698	110	108	43	65	897	229	风压有突变，塌料一 次
	5:00	2069	157	155	66	89	895	263	塌料一次；
	6:00	2541	206	203	98	105	900	320	料动；
	8:00	3570	259	254	154	100	932	306	
	12:00	4660	352	344	197	147	1085	189	
	18:00	4453	372	364	210	154	1147	275	



5.送风控制及出铁

5.1 送风参数控制





5.2 氧枪的应用

全焦开炉死铁层及炉缸中下部填充的都是冷焦炭，因而初期炉缸温度较低。通过铁口预埋氧枪加热炉缸特别是铁口区域，有利于提高炉缸温度，增加渣铁热量储备，加快冶炼进程。预埋氧枪在检漏试压完成后，与焊补漏点、风口堵泥、铁口保护板安装等相关工作同步进行。于11:12分开始装料，至12:58已布焦炭340吨，料面超过铁口中心线，12:58~14:48铁口预埋氧枪工作完成并点燃氧枪。

表十 铁口预埋氧枪参数

长度 (mm)	通氧量 (m ³ /h)	氧气		压风	
		需求压力 (MPa)	实际压力 (MPa)	需求压力 (MPa)	实际压力 (MPa)
5500	2000	0.6 ~ 0.8	0.9	0.5	0.45



5.3 出渣出铁

当铁水液面达到铁口中心线附近时出第一次铁，既不憋炉也有一定的渣铁量。通过计算冶炼进入炉缸总铁量在350-400吨时出铁，全焦开炉需30批料。送风19h32min后顺利出第一炉铁，顺利通过撇渣器，出铁342.52吨（不包括主沟铁），出铁时间持续118min。

在出第一炉铁之前利用拔氧枪每个铁口排渣两次。

表十一 8#高炉开炉拔枪排渣情况

	开始时间	结束时间	出渣量	备注
第一次出渣	9: 18	9:30	约20吨	走干渣坑
第二次出渣	10: 18	10:38	约50吨	走干渣坑

表十二 8#高炉开炉出铁情况

铁次	炉号	开口时间	堵口时间	来渣时间	出铁量 (t)	物理热 (°C)
第一次铁	28133	13:08	15:06	13:48	342.52	1354
第二次铁	28134	15:52	17:31	16:48	289.32	1389
第三次铁	28135	19:08	21:00	19:18	198.0	1362
第四次铁	28136	1:06	7:43	1:08	774.22	1494
第五次铁	28137	8:42	10:05	9:28	322.28	1510

PART6 达产情况及效益



6.1 达产情况

开炉快速达产达效，开炉后各项技术经济指标也稳步推进。8#高炉1-3月份主要技术经济指标见表二。

表十三 8#高炉1-3月份主要技术经济指标

时间	利用系数 t/m ³ .d	日产量 t/d	煤比 kg/t	燃料比 kg/t	风温 ℃	品位 %	富氧率 %
2021年1月	2.67	7466	149.65	523.79	1194	58.64	6.16
2021年2月	2.99	8371	155.80	508.70	1213	58.77	4.66
2021年3月	3.02	8449	169.23	506.69	1209	58.87	4.57



6.2 效益

(1) 增产效益：本次全焦开炉节约72小时，增产生铁24000吨，增产钢材约三万吨（30000吨），增产直接经济效益约两千五百万（2500万元）。

(2) 节焦效益：本次全焦开炉达产达效进程快，与涟钢6#高炉（四天达产）枕木开炉相比，按四天达产计算，焦比下降93kg/T.Fe，节约焦炭1030吨，节焦降低成本260万元。

(3) 订单及时交付：本次中修通过包括全焦开炉等一系列技术改进创新，将工期从35天左右缩短至25.15天，极大缓解了涟钢订单交付的紧张局面。

PART 7 结语

结 语

- (1) 大型高炉全焦开炉技术难度相对较大，本次中修通过精心准备，从配料、高温装料、深料线送风等多方面进行探索创新，克服了大型高炉全焦开炉的技术难点，实现8#高炉安全、快速、顺利开炉，取得良好效果。
- (2) 选择比枕木开炉低10%左右的总焦比，多层分段配料都满足合理的炉渣成分要求。其中四元碱度控制在高炉正常生产水平， Al_2O_3 13-14%，较高的 MgO/Al_2O_3 0.6-0.7，开炉初期出渣良好。
- (3) 封闭炉顶装料，不观察料面。计算料流轨迹确定布料倾角，预置下料闸开度与流量关系曲线后程序自学习更新数据，深料线补偿准确装料，形成合理的矿焦分布及料面形状，构建合理的矿焦料层分布，为开炉送风后顺利推进创造条件。
- (4) 送风加风先慢后快，选择合适的时机处理料柱板结。铁口全部埋入氧枪，为炉缸提供热量储备且提前排出部分炉渣，促进炉缸活跃，加快开炉达产进程。

**本次全焦开炉得到了同行多位技术专家的悉心指导！
在此表示衷心的感谢！
不当之处敬请各位专家批评指正！**

