

转炉吹炼过程炉口异常冒火原因

Cause of Abnormal Fire in the Converter Mouth during Bessemer Blowing Process

供稿|黄磊 / HUANG Lei

内
容
导
读

广西钢铁炼钢厂转炉吹炼过程中炉口异常冒火长期影响炼钢工人看火,针对一次除尘效果变差造成的异常冒火,从废钢原材料优劣差异、转炉生产中炉型的逐渐变化、汽化冷却烟罩结渣、干法除尘系统入口烟气温度升高等方面进行横向对比、技术参数分析及实验探索。排除掉氮气密封和蒸发冷喷枪枪位等无关或次要因素,探明炉型变化、烟罩结渣、废钢原材料差等是导致异常冒火的主要原因。

除尘工艺背景

广西钢铁炼钢厂4×210 t转炉干法除尘系统从设计开始,汲取了柳钢本部转炉厂湿法改干法除尘设计弊病带来的教训,在蒸发冷喷枪选型和蒸发冷直筒段长度设计上都进行了优化配置。产能达到设计值的80%以上,较频繁地出现个别炉座在吹炼过程中炉口异常冒火现象。经检验,转炉一次除尘烟气含高浓度的CO,4个炉座的CO燃烧率均过高,CO₂平均体积分数均达到20%以上。这样的工况下,抽烟效果、转炉煤气回收浓度和时长、一次风机能耗、固定烟罩寿命等技术指标均较差^[1-2]。

异常冒火会造成活动烟罩吊挂烧损,有掉落的风险;同时还会造成炉口段烟罩管壁烧损减薄,有爆管漏水被迫停炉的风险。本文主要针对炉座抽烟效果异常恶化进行分析和研究。

原因分析

综合分析一段时间的数据和现场跟踪,明确造

成转炉炉口冒火异常大的主要原因有以下几点。

蒸发冷入口温度的影响

以抽烟效果最为反复的4#转炉为例,统计出一批具有代表性的蒸发冷入口温度正常和过高的炉次:吹炼前200 s正常值为1000℃左右,吹炼全程均值在850℃左右,进行一次风机平均转速、烟气流量、回收期CO平均浓度、蒸发冷平均供水量等指标的对比,如表1所示。

从表1的数据对比可知:在同样的铁水装入制度下,蒸发冷入口温度过高的炉次,蒸发冷喷水量、烟气量均较大,而且煤气浓度偏低,回收时间偏短,这些炉次均出现炉口异常冒火的现象。因为蒸发冷入口温度的高低和炉口异常冒火有较强的相关性,下面对蒸发冷入口温度过高的原因进行深入分析。

废钢质量

废钢质量的恶化,是蒸发冷入口温度过高的原因之一,且具有无规律性和不可控性。如图1所示,劣质废钢压块中夹杂橡胶、塑料、油泥、油漆

表1 不同炉次的干法除尘参数对比

蒸发冷入口温度/℃		蒸发冷平均供水量/(m ³ /h)	回收时长/s	回收期CO平均体积分数/%	一次风机平均转速/(r/min)	烟气流量/(万m ³ /h)
1#表	2#表					
1231.9	1200.8	47.3	679.0	34.0	1197.7	39.7
1251.6	1225.1	47.8	665.0	36.0	1212.0	40.5
1213.6	1206.0	47.1	622.0	36.4	1187.7	39.5
1241.0	1208.2	47.6	566.0	36.6	1191.0	39.6
1284.8	1221.0	48.1	579.0	39.5	1186.3	39.2
1277.9	1200.3	47.7	612.0	38.5	1200.7	40.1
1252.1	1251.4	48.6	623.0	41.4	1189.4	39.6
1206.4	1214.2	48.0	603.0	37.8	1184.7	39.3
996.4	982.2	46.1	879.0	41.0	1179.5	38.0
1026.2	957.6	45.9	727.0	44.5	1183.7	38.3
1005.2	987.5	45.8	837.0	43.3	1165.2	37.4
1015.2	988.9	46.3	727.0	44.9	1201.4	39.2
1029.0	1048.6	46.7	880.0	43.3	1193.1	39.1
1022.4	990.0	46.3	829.0	43.8	1196.9	38.9
977.4	964.8	45.2	690.0	44.8	1191.7	38.6
999.4	1022.4	46.4	723.0	43.4	1195.2	38.7

注：烟气流量为标准状态下测量。



图1 劣质废钢

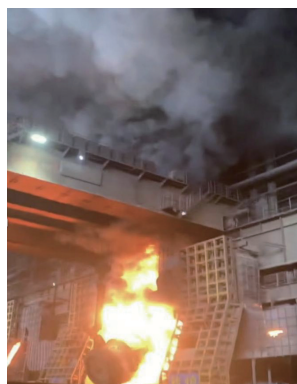


图2 劣质废钢兑铁时的异常冒火现象

和其它可燃物，燃烧后都会产生大量的热量。橡胶燃烧会产生大量的一氧化碳，造成二次燃烧放热，进一步导致吹炼 500 s 之前的烟气量过大，废钢中劣质夹杂物的燃烧，导致了燃烧率过高，烟气抽不完，炉口冒烟冒火，如图 2 所示。由于废钢质量的不可控性和无规律性，只能从废钢总体质量控制上来进行攻关^[3]。

➤ 烟罩冷却效果

在烟罩的高低压冷却循环水泵流量、压力及蒸发冷入口温度都校准的前提下，蒸发冷入口温度异常升高的另一个原因是汽化烟罩的冷却效果降低。

检修中发现，吹炼过程的烟罩粘渣比较严重，当汽化烟罩冷却效率最高的炉口段出现较大面积粘渣，冷却效果必然降低。造成如图 3 所示程度的烟罩结渣之后，会让蒸发冷入口的温度明显升高。实际工况下，蒸发冷入口温度有 200 ℃ 的差距时，烟气体积膨胀 1.3 倍。此时，需要从蒸发冷喷枪多喷入 6 t 水才能保证系统出口温降。多喷入的 6 t 水带入了近 20000 m³ 的工况水蒸气，增大了一次风机 7% 的负荷量。针对烟罩大面积结渣的现象，需要提高吹炼控制水平，减少喷溅，检修时发现较大面积粘渣应立即清理。



图3 炉口段黏渣现象

炉型变化的影响

> 炉口冒火方向

随着炉龄增加，渣面炉口冒火的情况会逐渐加重，并且冒火不均匀，都是朝渣面方向喷射。当渣面炉口出现如图4所示的异常冒火时，钢面炉口反而出现如图5所示的过抽现象，此时甚至连烟罩纹路和粘渣都能看清。调整炉子吹炼角度从 -0.5° 至 -2.5° ，指向渣面炉口异常冒火的情况得到改善，但是没能根本解决该问题。



图4 渣面炉口异常冒火

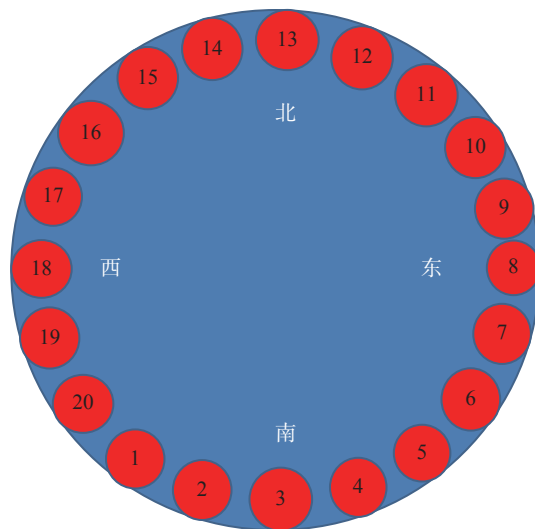


图5 钢面炉口过抽现象

> 蒸发冷喷枪枪位

对蒸发冷喷枪的枪位进行分析，发现蒸发冷喷

枪枪位不合理，导致系统气流流场紊乱，造成炉口抽力不均，最终出现渣面炉口异常冒火，钢面炉口过抽。蒸发冷喷枪一共20支均匀排布，如图6所示。将喷枪分成东南西北4块，每块各5支喷枪，按照表2进行组合实验。



注：从1#喷枪开始，每5支喷枪按照南、东、北、西的顺序为一组。

图6 蒸发冷喷枪布置平面俯视图

表2 蒸发冷喷枪各种枪位组合实验表

东	南	西	北	效果
往里插入10 cm	不动	往里插入10 cm	不动	无明显变化
往里插入10 cm	不动	不动	不动	无明显变化
不动	不动	往里插入10 cm	不动	无明显变化
往外拉10 cm	不动	不动	不动	无明显变化
不动	不动	往外拉10 cm	不动	无明显变化
不动	往里插入10 cm	不动	不动	无明显变化
不动	不动	不动	往里插入10 cm	无明显变化
不动	往里插入10 cm	不动	往里插入10 cm	无明显变化
不动	往外拉10 cm	不动	往外拉10 cm	无明显变化

上述实验过程中，全部枪位统一进行调整，发现蒸发冷喷枪的枪位调整（10 cm 已属于很大幅度的调整）对炉口冒火方向和程度均没有明显改变，因此判断，随着炉龄增加，冲出炉口的烟气方向并非垂直朝上，而是斜着朝渣面方向喷出，从而导致烟气中的CO与空气在渣面炉口燃烧^[4-5]。

炉口烟气斜冲原因

对比 2200 炉龄的 1#炉和 8800 炉龄的 4#炉的剖面图,可以发现,4#炉的内部空间非常不规则,部分区域保护砖侵蚀严重,部分区域被渣钢覆盖,导致炉底和炉壁呈不规则形状。

从图 7 和图 8 的对比可以看出,4#炉的不规则内腔,会导致顶吹氧气往渣面分散时受到阻挡。如图 9 所示,分散气流会往钢面方向聚集,而钢面的炉内壁往往由于积渣较厚,最终气流受引导斜着冲出炉口,朝向渣面方向。这就解释了随着炉龄的增加,炉口冒火方向一直是朝渣面方向冲出,而钢面方向则没有火焰冒出的现象,根本原因是保护砖被侵蚀后,不规则的腔体空间让炉内气流产生了一定规律的变化。所以,1#炉的抽烟效果、煤气回收和除尘效果较好,渣面炉口冒火量也少很多^[6-7]。由此可以判断,炉内壁耐火砖的侵蚀和钢渣的堆积,使得炉型变得扭曲,会直接产生炉口冒火的现象。而炉型的维护和保持,不光涉及冶炼工艺,还涉及到耐火材料的质量、寿命控制等比较复杂的工序环节,攻关难度较大。

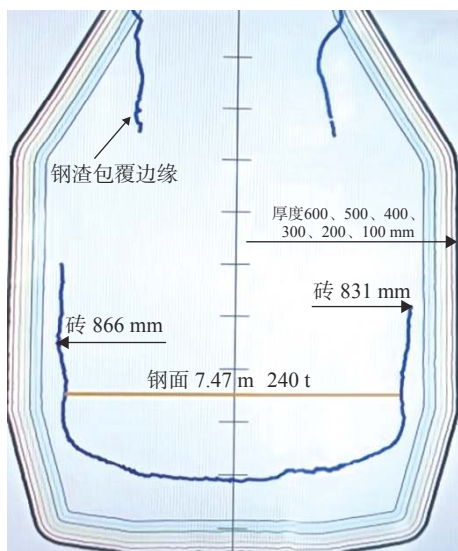


图 7 1#炉剖面图

烟罩异常结渣的影响

从图 10 可以看出,渣面炉口段烟罩因为吹炼飞溅,比较集中地粘上钢渣而形成坨。粘附钢渣明显阻碍渣面的烟气流场,导致渣面边部烟气不能有效抽走,最终火焰溢出炉口,造成渣面炉口冒火。一

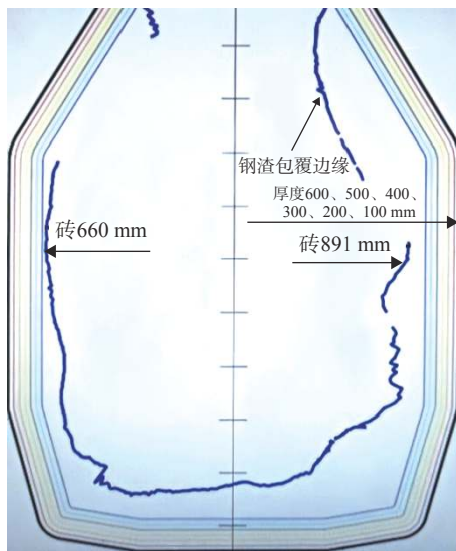


图 8 4#炉剖面图

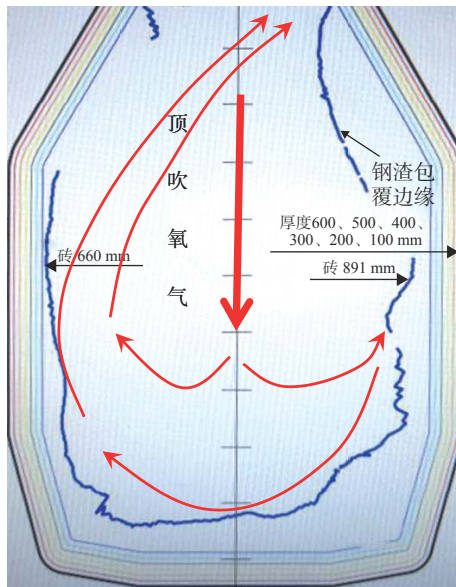


图 9 4#炉顶吹炉内气流走向示意图

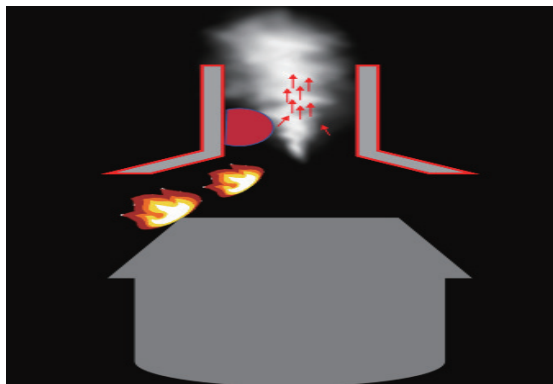


图 10 烟罩结渣后的炉口冒火及烟气流场示意图

且大块渣掉落，抽烟效果明显好转。这种情况容易判断，也容易解决。因此需提高吹炼水平，减少喷溅。

同时，不规则内腔导致喷溅的钢渣极易粘在渣面方向的烟罩内壁。炉龄越长，烟气方向会斜冲渣面炉口，斜冲烟气带出的钢渣粘附在烟罩内壁，这些因素都会加剧渣面炉口方向的冒火，一旦出现如图 11 所示的大块烟罩渣脱落，吹炼过程中炉口冒火的程度会立即得到改善。



图 11 4#炉从烟罩脱落下来的大块黏渣

密封氮气的影响

氧枪副枪口和下料溜管的氮气密封的喷气方向与汽化烟罩抽风的方向相反，如果密封气量过大，会明显阻碍抽风，导致炉口冒火。表 3 为 4 个炉座氮气密封的常规数据统计表。

表 3 4 座转炉氮气密封参数对比

炉座	总流量/(m³/h)	阀后压力/MPa
1#	7600~7900	0.7~0.8
2#	7900~8000	0.7~0.8
3#	7700~7900	0.7~0.8
4#	7700~7900	0.7~0.8

4 座转炉的氮气密封常规参数稍有差距，但影响不大，只要不出现大量的偏离，就不会导致某个炉座的炉口突发异常冒火。唯一需要注意的是，目前只有总管流量，无法直接测量氧枪口、副枪口、粗灰溜管的氮气流量，需要分别安装流量计才能实现精确调控，是否能够降低氮封流量，还需要进一步测试。



图 13 两座炉子活动烟罩降罩情况对比图：(a) 活动降罩降罩到位；(b) 活动烟罩降罩不到位

烟罩漏水的影响

炉口段烟罩漏水，每漏 1 t 水，可生成工况气体大约 3333 m³，烟罩循环水的压力高达 2 MPa。炉口段一旦出现漏点，喷射出来的水量会比预想的要大，一次风机需要增加风量来抽完额外产生的水蒸气。提高一次风机转速后，额外抽入的空气与转炉煤气燃烧，产生额外的热量和二氧化碳，更加剧了抽烟效果的恶化。如出现如图 12 所示的烟罩爆管，喷射水量可达到 10 m³/h，抽烟效果会变得非常差，只能停炉补焊。



图 12 炉口段烟罩爆管

蒸发冷喷枪供水异常的影响

蒸发冷喷枪作为干法除尘的核心降温设备，精度要求很高，一旦出现较大误差，喷入了过多的水，也会导致抽烟效果恶化。因此，每次检修都需要对每支喷枪环缝的通过量进行检测，保证雾化粒径，才能保证高温烟气的快速蒸发。

每次停炉检修都应对每支喷枪进行检测，一旦数据偏离基准值 4% 以上，立即拆下来清洗修复，蒸发冷喷枪的冷却稳定性能够得到保证。

活动烟罩降罩的影响

如图 13 所示，活动烟罩是否降罩到位，到位之

后罩裙底部到炉口的间距大小,都会影响吹炼过程炉口空气的吸入量。吸入量越大,CO的二次燃烧量越大,就会产生更多的高温烟气,造成除尘风机的负荷也就越大,反之,降罩尽量严丝合缝,对炉口冒火的程度会有所减轻。

结束语

炉口异常冒火的原因比较复杂,炉型的变化是主因之一但较难攻关。但是可以从废钢质量控制、炉口段烟罩黏渣及时清理、吹炼控制的优化、烟罩降罩到位等方面进行优化。关于干法除尘抽烟效果的下一步深度研究则集中在蒸发冷喷枪冷却面的布置优化上,旨在提高喷淋雾化水的冷却效率,缩短高温烟气的急冷时间,在一定程度上提高抽烟效果。

参考文献

[1] 韩仁德,龙次考,黄磊.湛钢350 t转炉煤气回收潜力分析.冶

金能源,2023,42(2):49

[2] 陈均.干法除尘工艺在200 t半钢炼钢转炉上的应用.钢铁,2016,51(7):89

[3] 张宁,吴浩.唐钢新区提高转炉煤气回收措施.冶金能源,2022,41(3):45

[4] 刘强,鲁明,金学虎,等.蒸发冷喷枪系统在转炉干法除尘的应用.冶金设备,2018(S1):137

[5] 黄磊.柳钢转炉一区干法除尘蒸发冷却器雾化喷头的选型及应用.冶金动力,2020(3):60

[6] 高宣宣.转炉煤气干法除尘蒸发冷却器系统及操控技术优化.山西冶金,2023,46(4):240

[7] 王茹.转炉干法除尘蒸发冷却系统优化与仿真[学位论文].唐山:华北理工大学,2018

作者简介:黄磊(1982—),男,广西省柳州市人,高级工程师。2006年毕业于中南民族大学环境工程专业,主要研究方向:炼钢能源环保。通信地址:广西防城港市港口区广西钢铁炼钢厂;E-mail:huanglei8221@163.com。