

# 干熄焦与湿熄焦性能差别研究

晁 伟,马 超,孙 健,徐荣广,刘 洋

(首钢技术研究院,北京 100043)

**摘 要** 首钢京唐公司 7.63 m 焦炉所产干熄焦与湿熄焦(采用稳定熄焦工艺)在常规冶金指标上差别不大,通过实验测试数据,对比了两者的显微结构、有害元素含量、堆密度和空隙度,结果表明,首先与干熄焦相比,湿熄焦平均粒度偏小,会导致焦炭层堆密度较高,空隙度降低,从而造成料层透气性差,高炉压差升高;其次湿熄工艺采用的生化废水会导致焦炭表面的有害元素含量升高,进入高炉后,会加剧焦炭劣化,同时还会加重高炉的碱金属负荷。最后,对大型高炉使用湿熄焦提出了建议。

**关键词** 干熄焦,湿熄焦,焦炭空隙度,透气性,有害元素

文章编号:1005-9598(2015)-02-0020-04 中图分类号:TQ522.1 文献标识码:A

## 引 言

焦化厂常用的熄焦方式主要有干熄和湿熄两种。传统湿熄工艺的优点是工艺较简单、装置占地面积小、基建投资较少、生产操作较方便,但湿熄工艺同时存在能源浪费、环境污染以及焦炭质量差等缺点。而干熄工艺是指采用惰性气体,将红焦降温冷却的一种熄焦方法,由于该工艺在显热回收、环保和改善焦炭质量等方面优于传统的湿熄工艺,因此成为当前主要的熄焦方式<sup>[1-2]</sup>。目前国内外研究普遍认为湿熄焦质量要差于干熄焦,主要原因是湿熄时,红焦急剧冷却,会使焦炭裂纹增多,导致焦炭强度下降,另外,湿熄焦所含水分波动较大,不利于高炉炼铁生产。为解决湿熄过程中存在的问题,国内外研究者对湿熄装置及湿熄工艺不断进行改进,在某些方面缓解了传统湿熄工艺的不足<sup>[3-4]</sup>。

首钢京唐公司现有 4 座 7.63 m 焦炉,年产焦炭 380 万 t,熄焦系统使用干熄焦工艺,同时配套稳定熄焦工艺(CSQ),作为干熄过程检修时的备用。稳定熄焦是一项新型湿法熄焦工艺,通过该工艺,可以将焦炭的水分控制在 3%以内,远远低于常规的湿熄工艺。京唐公司所产焦炭质量稳定,其冷热强度在国内钢铁企业居于领先水平,然而京唐公司 5 500 m<sup>3</sup> 超大型高炉

在使用 50%比例的湿熄焦期间,多次出现炉况波动,如高炉压差升高,焦比升高,使高炉的生产指标出现不同程度的下降。针对这一问题,通过比较干熄焦与湿熄焦在常规性能指标、显微结构、有害元素含量、堆密度和空隙度上的差别,明确了湿熄焦对高炉顺行带来的不利影响,从而可以更好地指导高炉操作。

## 1 实 验

### 1.1 焦炭光学组织测定

将焦炭试样粉碎,筛选粒度在 0.1 mm~1.0 mm 的焦粒制样,经加热成型、磨制、抛光制成光片,在正交偏光的显微镜下观察,每个样品统计约 500 个点,按照点数比例,计算得出焦炭各光学组织的含量,焦炭光学组织的划分及测定按 TB/T 077 1995 标准执行。

### 1.2 焦炭气孔结构测定

随机选取干熄焦与湿熄焦(40 mm~80 mm 粒级)各 10 块焦炭样品,切割成 30 mm×30 mm×10 mm 的长方体,切割面经磨制、抛光后,在显微镜下观察,使用 MSS-2000 型全自动智能型煤焦显微分析系统进行统计,可以得到焦炭的总气孔率、平均孔径及平均孔壁厚度。

### 1.3 扫描电子显微镜分析

采用日本日立公司的 S-3400N 扫描电子显微镜,

收稿日期:2014-12-30

作者简介:晁 伟(1982—),男,山东临沂,高级工程师,博士,2003 年本科毕业于烟台大学应用化学专业,现主要从事煤焦化方向的研究工作,E-mail:chaowei@shougang.com.cn。

对焦炭表面的形貌特征进行观察分析,放大倍数 500 倍,加速电压 15.0 kV,工作距离 10 mm。使用 Oxford Link ISIS X 射线能谱分析仪,对湿熄焦表面的化合物元素组成进行分析。

1.4 焦炭的堆密度和空隙度测试

使用排水法,测量焦炭的堆密度及空隙度。首先称量空桶质量  $m_1$ ,装入焦炭后,上下振动几下,使料层分布均匀,再次称量总质量  $m_2$ ;向圆桶中缓慢加入自来水,至液面刚好覆盖到焦炭最上层,测量液面高度  $h$ ;再次称量总重  $m_3$ ;静置 10 min 后,将桶内水放干,再次称重  $m_4$ 。重复以上步骤,每个样品测量 5 次,取平均值。

焦炭的堆密度由公式(1)计算得出:

$$\rho_{\text{焦炭}}=(m_2-m_1)/[\pi(D/2)^2 h] \tag{1}$$

焦炭的空隙度由公式(2)计算得出:

$$Q=(m_3-m_4)/[\rho_{\text{水}} \pi(D/2)^2 h] \times 100\% \tag{2}$$

其中: $D$ ——圆桶的直径,m; $\rho_{\text{水}}$ ——水在测量温度下的密度,t/m<sup>3</sup>; $\rho_{\text{焦炭}}$ ——焦炭的堆密度,t/m<sup>3</sup>; $Q$ ——焦炭的空隙度。

2 结果与讨论

2.1 焦炭的常规指标对比

首钢京唐公司 7.63 m 焦炉在同一配煤条件下,所产干熄焦与湿熄焦的常规冶金性能指标列于表 1。

表 1 京唐干熄焦与湿熄焦常规冶金性能指标 %

样品	$M_t$	$A_d$	$V_{\text{daf}}$	$S_{t,d}$	$M_{40}$	$M_{10}$	CRI	CSR
干熄焦	0.3	11.92	1.25	0.73	91.0	5.66	19.52	72.6
湿熄焦	2.8	12.02	1.25	0.75	90.5	5.89	19.94	72.2

从表 1 可知,首钢京唐公司所产干熄焦与湿熄焦除了水分含量有较大差别外,其余各性能指标基本相当,与传统意义上的干湿熄焦炭质量差别较大的现象有明显不同,这说明采用稳定熄焦工艺,可得到与干熄工艺指标接近的焦炭。然而实际生产过程中,京唐高炉在使用高比例的湿熄焦期间,多次出现炉况波动,说明湿熄焦并没有表现出与其指标相符的冶金性能,即常规指标无法反映出湿熄焦与干熄焦在使用过程中的差别。

2.2 焦炭的显微组成及孔隙结构

京唐干熄焦与湿熄焦的光学组织组成列于表 2。

利用岩相显微镜,观察干熄焦与湿熄焦的显微组成,通常焦炭的光学组织含量主要取决于炼焦所用的煤种,由于干熄焦与湿熄焦使用的煤种及配煤比例完

表 2 京唐干熄焦与湿熄焦的光学组织组成 %

焦炭	各向同性	细粒镶嵌	中粒镶嵌	粗粒镶嵌	纤维	片状	破片与类丝炭	镶嵌结构总含量
干熄焦	0.3	2.0	28.0	46.4	0.7	0.5	22.1	76.4
湿熄焦	1.7	3.1	24.7	48.7	1.3	0.4	20.1	76.5

全相同,因此干熄焦与湿熄焦的光学组织含量也基本相同,同时也说明熄焦方式对光学组织含量的影响不大。从表 2 可知,这两种焦炭的显微组成中,主要以中粒和粗粒镶嵌结构为主,镶嵌结构总含量(细粒、中粒和粗粒镶嵌之和)都达到了 75%以上。通常来说,焦炭中的镶嵌结构含量越高,焦炭的冷强度越高<sup>[5]</sup>,而镶嵌结构主要是焦煤和肥煤加热后形成的,这说明京唐焦炭的配煤中焦煤和肥煤比例较高,相应的焦炭  $M_{40}$  很高,达到了 90%以上。

京唐干熄焦与湿熄焦的孔隙结构测试结果列于表 3。

表 3 京唐干熄焦与湿熄焦的孔隙结构测试结果

焦炭	平均孔径 / $\mu\text{m}$	平均孔壁厚度 / $\mu\text{m}$	气孔率 /%
干熄焦	143.4	124.6	54.5
湿熄焦	140.9	111.3	57.2

从表 3 可知,湿熄焦的气孔率为 57.2%,比干熄焦的气孔率高 2.7%,这是由于熄焦工艺不同造成的<sup>[6]</sup>。湿熄焦过程中,焦块遇水骤冷收缩,会使焦炭的内应力剧增,产生较多的裂纹,形成较多的气孔;另外,部分水蒸气和红焦发生化学反应,也生成较多气孔。但湿熄焦的平均孔径(140.9  $\mu\text{m}$ )和孔壁厚度(111.3  $\mu\text{m}$ )分别略低于干熄焦的平均孔径(143.4  $\mu\text{m}$ )和孔壁厚度(124.6  $\mu\text{m}$ ),这说明湿熄焦炭的气孔以微孔居多,这可能由于焦炭湿熄时,水蒸气与焦炭发生气化反应,会产生较多的微孔,同时也会导致孔壁减薄<sup>[7]</sup>。综合比较,京唐干熄焦与湿熄焦在孔隙结构上差别并不大,因此反映在表 1 中焦炭的冷态强度和热态强度指标上,两者的差别也不是很大,例如表 1 中  $M_{40}$  仅相差 0.5%,而 CSR 相差仅 0.4%。

2.3 有害元素含量

京唐干熄焦与湿熄焦的灰组成中有害元素组成列于表 4。

表 4 京唐干熄焦与湿熄焦的灰组成中有害元素组成 %

焦炭	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$	ZnO	Cl
干熄焦	0.39	0.35	0.012	0.011
湿熄焦	0.37	0.74	0.025	0.010

高炉中的 K、Na 和 Zn 等有害元素主要从原料中带入,在高炉内长时间富集后,对高炉的危害很大。通常焦炭中的有害元素主要以 S、K 和 Na 为主,Zn 和 Cl 的含量很少。从表 4 可知,干熄焦与湿熄焦的 K 和 Cl 元素的含量相差不大,但湿熄焦中 Na 和 Zn 两种有害元素的含量明显高于干熄焦,另外,从表 1 中的全硫含量对比来看,湿熄焦的硫分为 0.75%,也略高于干熄焦的硫分 0.73%,整体来看,湿熄焦中有害元素的总量要高于干熄焦中有害元素的总量。

通过观察发现,许多湿熄焦的表面通常覆盖着一层白色粉末状的固体颗粒,这是因为熄焦时,水分快速蒸发,熄焦水中的无机盐类析出后,残留在焦炭表面形成的。通过扫描电镜观察这些白色颗粒,大多粒径在  $5\ \mu\text{m}$ ~ $20\ \mu\text{m}$ ,均匀地分布在焦炭表面,少量的颗粒进入到焦炭的气孔中,对这些白色颗粒进行能谱分析,发现其主要组成元素为 O、Na、S、Cl,另外还有少量的 K 和 Al 元素,推测其化学成分,主要为 Na 的无机盐,如  $\text{Na}_2\text{S}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  及  $\text{NaCl}$  等,这就是湿熄焦中有害元素较多的主要原因。

由于京唐湿熄工艺使用生化处理后的焦化废水,这些无机盐应为熄焦水中的主要成分,在熄焦过程中,由于水分蒸发而析出覆盖在焦炭表面上,而这些无机盐如(KCl 或 NaCl)对焦炭的反应性有一定的催化作用,因此,进入高炉后,可能会加剧焦炭的劣化,同时,还会造成高炉碱负荷升高。

## 2.4 焦炭堆密度和空隙度分析

京唐干熄焦与湿熄焦的堆密度及空隙度测试结果列于表 5。

表 5 京唐干熄焦与湿熄焦的堆密度及空隙度测试结果

焦炭	堆密度 / $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$	空隙度 /%
干熄焦	0.516	50.02
湿熄焦	0.563	47.34

焦炭的堆密度主要由焦炭的块度及其均匀性所决定,作为炼铁的主要原燃料进入高炉后,焦炭的堆密度大小对高炉的透气性有着重要的影响。一般来说,焦炭的块度越小,其堆密度就越大,进入高炉后,焦炭层会越紧密,导致料层的透气性差,高炉压差升高<sup>[8]</sup>。

焦炭的空隙度与焦炭的块度、小焦粒的比例及抗碎强度有关,一般来说,焦炭的块度越大,其堆密度越小,焦炭的空隙度越高;而小块焦炭多,会填充在大块焦炭的缝隙中,这将明显降低焦炭层的空隙度;抗碎强度差的焦炭在运输或装卸过程中,会产生大量小级

别的焦块,也会造成空隙度下降<sup>[8]</sup>。

从表 5 中可看出,湿熄焦的堆密度为  $0.563\ \text{t}/\text{m}^3$ ,明显大于干熄焦的堆密度( $0.516\ \text{t}/\text{m}^3$ ),相应的湿熄焦的空隙度仅为 47.34%,也明显低于干熄焦的空隙度 50.02%,这说明如果湿熄焦的使用比例过高,会使炉内的焦炭层堆积的更加致密,颗粒之间的空隙度降低,从而使高炉透气性变差。

本研究中,使用排水法对焦炭的堆密度和空隙度进行测试,结果表明湿熄焦的堆密度明显大于干熄焦的堆密度,这其中固然有湿熄焦水分高的影响(湿熄焦大约含有 3% 的水分,因此相同条件下湿熄焦的堆密度通常应该大于干熄焦堆密度),但实验结果显示,湿熄焦堆密度比干熄焦堆密度要高近 10%,扣除 3% 水分的影响,湿熄焦的堆密度仍然较干熄焦高很多。这主要是由于湿熄焦平均粒度小于干熄焦平均粒度,从而导致焦炭堆积的更加紧密。另外湿熄焦的空隙度较干熄焦空隙度低近 5%,这应该也是由于湿熄焦平均粒度偏小造成的。干熄焦与湿熄焦的粒度组成列于表 6。从表 6 中可知,湿熄焦的平均粒度为 56.1 mm,较干熄焦的平均粒度低 2.8 mm。

表 6 京唐干熄焦与湿熄焦的粒度组成

样品	粒度 /%					平均粒度 /mm
	>80 mm	60 mm ~80 mm	40 mm ~60 mm	25 mm ~40 mm	<25 mm	
干熄焦	10.80	36.10	41.04	9.35	2.71	58.9
湿熄焦	10.02	26.52	49.04	11.21	3.21	56.1

综上可知,高炉在使用湿熄焦时,由于湿熄焦的堆密度大,空隙度较低,必然会造成料层的透气性较差,高炉压差升高,给高炉顺行带来不利影响。

## 3 结 论

通过分析,找出了京唐 7.63 m 焦炉所产干熄焦与湿熄焦在结构与性能上的差别,明确了湿熄焦在使用过程中的不利因素,主要有以下两点:

(1)湿熄焦的平均粒度普遍小于干熄焦的平均粒度,因而焦炭层堆密度升高,空隙度降低,最终会导致高炉料层透气性差,高炉压差升高。

(2)湿熄工艺大多使用处理后的生化废水,其含盐量高,其中含有 Na、K、Cl 等有害元素的无机盐会在熄焦时析出,覆盖于焦炭表面,进入高炉后,会加速焦炭劣化,导致高炉碱负荷升高。

随着高炉炉型的不断大型化,湿熄焦的不利影

响可能会被放大,因此,建议大型高炉在使用湿熄焦时,一定要注意湿熄焦的这两个特点,湿熄焦使用比例不宜过高,生产上要及时调整高炉操作,保证炉况顺行。

### 参考文献:

- [1] 任全军,郑海兰,张 军,等.熄焦工艺对焦炭质量的影响[J].河北冶金,2013(6):20-22.
- [2] 张 力,李 帆.熄焦工艺评价[J].煤化工,1996,24(2):25-32.
- [3] 张 建,石正国,薛利山.对传统湿法熄焦工艺进行低水分熄焦的改造[J].煤化工,2009,37(2):56-58.
- [4] 齐 娜,李德瑾,常 宇,等.新型熄焦工艺在济钢 6 m 焦炉系统的应用[J].煤化工,2006,34(6):41-43.
- [5] 周师庸.炼焦煤性质与高炉焦炭性质[M].北京:冶金工业出版社,2008.
- [6] 庞文娟,付利俊,康恩胜.碱金属对干湿法熄焦焦炭热性能的影响[J].包钢科技,2009,35(3):28-30.
- [7] 吕 劲,何亚斌,汤长庚.干熄焦工艺对焦炭质量的影响[J].钢铁,2002,37(1):5-10.
- [8] 傅永宁.高炉焦炭[M].北京:冶金工业出版社,1995.

## Study on the Difference Between Coke Dry Quenching and Coke Wet Quenching

Chao Wei, Ma Chao, Sun Jian, Xu Rongguang and Liu Yang

(Shougang Research Institute of Technology, Beijing 100043, China)

**Abstract** The traditional metallurgical parameters of the coke dry quenching and coke wet quenching of the 7.63 m coke oven in the Shougang Jingtang Iron and Steel Company were quite close to each other. The comparison between the test data of the microstructure, harmful elements amount, bulk density and void content of the two kinds of quenching showed that the coke dry quenching had two evident defects, which was firstly smaller average particle size, resulting in the increase of bulk density and decrease of the void content, and consequently causing poor gas permeability and higher pressure difference of the blast furnace, and secondly the biological wastewater used for quenching could increase the harmful elements on the coke surface, which may aggravate the coke degradation and meanwhile increase the alkalis burden of blast furnace. In the end, some suggestions were given to companies having large blast furnaces adopting coke wet quenching.

**Key words** coke dry quenching, coke wet quenching, coke voidage, gas permeability, harmful element

(上接第 14 页)

## The Application of the Technology for Adjusting the Particle Size of the High Rank Coal to Coking Operation

Chen Jun'an, An Zhanlai, Wang Jian, Xu Baoxian and Chen Wei

(Coking Plant of Han Steel, HBIS Group, Handan Hebei 056001, China)

**Abstract** The experimental scheme and result of lean coal particle size adjustment by small coke oven for coal blending was introduced and the rule of the impact of the particle size of the high metamorphic coal on the coking property of the coal blend was discussed. Proposed there was the technology of adjusting the particle size of the coking coal based on the coal received and the impact of the grinding equipment on the particle size distribution. Production practice proved that the selection of fine particle size distribution of high metamorphic coal blend for coking could significantly improve the coking property.

**Key words** coking, coal blending structure, high rank coal, particle size of the coking coal, adjustment

节能珍惜资源,减排保护环境