

府谷半焦干燥特性研究

郭启海^{1,2},张顺利^{1,2},张佼阳^{1,2},丁力^{1,2},薛逊^{1,2},吴道洪^{1,2}

(1. 北京市低变质煤与有机废弃物热解提质工程技术研究中心,北京 102200;2. 北京神雾环境能源科技股份有限公司,北京 102200)

摘要:针对炼焦工艺及熄焦方式不同导致焦炭含水率波动较大问题,以府谷半焦为原料,进行半焦干燥实验研究,考察了粒径、干燥温度、有无鼓风、堆积厚度等因素对半焦干燥速率的影响。结果表明,在恒定的干燥条件下,粒径越小,干燥速率越快。若将半焦粒径从50 mm减小到10 mm,则焦炭含水率干燥至1%所需干燥时间由57 min降至31 min;干燥温度降低,干燥初始阶段的调整期延长,干燥速率迅速下降,水脱除量急剧减少。因此,为保证较快的干燥速率,干燥温度应控制在200℃以上为宜;增加鼓风,降低堆积厚度有助于提高干燥速率,通过鼓风方式干燥可将脱水率提高23%。

关键词:半焦;干燥特性;水分;干燥温度

中图分类号:TQ52

文献标志码:A

文章编号:1006-6772(2016)02-0005-04

Drying characteristics of Fugu semi-coke

GUO Qihai^{1,2}, ZHANG Shunli^{1,2}, ZHANG Jiaoyang^{1,2}, DING Li^{1,2}, XUE Xun^{1,2}, WU Daohong^{1,2}

(1. Beijing Low-rank Coal and Organic Waste Pyrolysis Technology Engineering Research Center, Beijing 102200, China;

2. Beijing Shenwu Environment and Energy Technology Co., Ltd., Beijing 102200, China)

Abstract: Different coking process and coke quenching process led to large fluctuation of coke moisture. In order to resolve the problem, drying experiments were carried out using the Fugu semi-coke as raw materials. The effects of particle size, drying temperature, with or without air blast and accumulative thickness on drying rate were determined. The results showed that the drying rate increased with the decrease of particle size at a fixed drying condition. When the particle size decreased from 50 mm to 10 mm, the time needed for achieving the same water contents (1%) distinctly shortened from 57 min to 31 min. With the temperature decrease, the adjustment period of initial drying stage was prolonged, the drying rate declined and the removal quantity of water decreased. To ensure a faster drying rate, the appropriate temperature should be controlled above 200℃. Adding air blast and reducing accumulative thickness of semi-coke helped to promote the drying rate. The use of forced air drying method could increase the dehydration rate by 23%.

Key words: semi-coke; drying property; moisture content; drying temperature

0 引 言

半焦俗称兰炭,是泥煤、褐煤和高挥发分烟煤等经低温(500~700℃)热解得到的固体产物,具有比电阻高、反应性和可磨性好、无爆炸性及燃点和强度低等特点,在铁合金、电石、化肥等行业完全可以替代且优于一般焦炭,同时在高炉喷吹、生产炭化料和活性炭等领域有较大的发展潜力^[1]。目前,半焦的生产以水封冷却出焦方式为主,由于

半焦孔隙率较大,在熄焦过程中吸入大量水分,抽样统计成品半焦中水分最高可达20%^[2]。而在铁合金^[3]、电石^[4]、高炉喷吹^[5]等生产中,通常要求碳素原料含水率低于3%,最好小于1%。此外,半焦中水分过高会增加运量,浪费运力,加大运费。因此,对半焦进行干燥尤为重要。国内外学者对高水分煤的干燥研究较多,而对半焦干燥的基础研究报道甚少。陈鹏^[6]对神华集团内蒙古矿区动力煤进行研究,在热风流量2000 L/min的条

收稿日期:2015-07-06;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2016.02.002

基金项目:北京市科技计划课题资助项目(Z121100004412003)

作者简介:郭启海(1981—),男,黑龙江桦南人,工程师,硕士,从事煤炭气化技术、煤炭提质技术和电石冶炼技术的工艺过程开发及工程放大等研究。E-mail:guoqihai@139.com

引用格式:郭启海,张顺利,张佼阳,等.府谷半焦干燥特性研究[J].洁净煤技术,2016,22(2):5-8.

GUO Qihai, ZHANG Shunli, ZHANG Jiaoyang, et al. Drying characteristics of Fugu semi-coke[J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(2): 5-8.

件下,170℃热空气可在10 min内将煤中水分从30%降至15%以下。秦谊等^[7]采用云南高分褐煤为研究对象,干燥温度为100~150℃,干燥时间为30~60 min时,水分控制在10%~20%。刘芳侯^[8]对工业化焦炭烟气烘干工艺进行研究,发现增加不同平面的烟气通风量,烘焦时间可缩短至原来的3/8,提高焦干工序生产能力。笔者以府谷半焦为原料,考察了粒径、干燥温度、有无鼓风、

堆积厚度等因素对半焦干燥速率的影响,以期为后续半焦干燥系统中试与工业化生产提供基础数据和设计参考。

1 实验部分

1.1 实验样品

半焦样品取自府谷,样品工业分析和元素分析见表1。

表1 半焦工业分析和元素分析

Table 1 Proximate and ultimate analysis of semicoke

工业分析/%				元素分析/%					$Q_{\text{net,ar}}/$
M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}	$w(C_{\text{ad}})$	$w(H_{\text{ad}})$	$w(O_{\text{ad}})$	$w(N_{\text{ad}})$	$w(S_{\text{t,ad}})$	$(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
6.22	7.95	3.81	82.02	81.83	0.79	2.47	0.51	0.23	27.36

1.2 实验方法

参照GB 474—2008《煤样的制备方法》的制样方法,取半焦样2 000 g,参照GB/T 217—2008《煤的真相对密度测定方法》,将其置于沸水中浸泡36 h,再在冷水中浸泡72 h^[9],以确保吸水完全。

将半焦样从水中捞出,平铺于托盘中晾干,待半焦表面无明显水迹时,取500 g进行全水分测定。剩余煤样均分为3份放入浅坩埚内,置于鼓风干燥箱内,进行干燥实验,每种实验条件平行进行3组,计算干基含水率,取平均值。

2 结果与讨论

2.1 粒径对半焦干燥效果的影响

取3、10、30、50 mm半焦各500 g,单层平铺于托盘内,置于鼓风干燥箱内,鼓风机关闭,温度设定为250℃,考察不同粒径半焦的干燥特性,结果如图1所示。由图1可知,半焦粒径为3 mm时,10 min内水分下降至0.87%,水分脱除率达到96.1%。粒径从10 mm增大到50 mm,干燥速率逐渐下降,达到干基含水率小于1%所需时间分别为31、46和57 min。半焦粒径达到50 mm时,干燥速率在开始阶段出现明显调整期,这是由于相同质量的物料,粒径越大,与热源的接触面积相对越小,相应的传质、传热越慢,导致水分移出与热量传入不匹配,干燥速率较小,调整期过后,半焦含水率随干燥时间直线下降^[10-11]。说明在恒定的干燥条件下,半焦粒径对干燥速率的影响极为显著,减小粒径,有助于提高干燥效率。

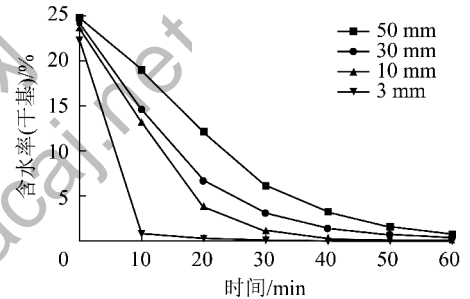


图1 粒径对干燥效果的影响

Fig. 1 The effect of semi-coke diameter on drying process

2.2 温度对半焦干燥效果的影响

取粒径30 mm半焦500 g,在无鼓风条件下,考察不同温度对干燥效果的影响,结果如图2所示。由图2可知,温度为250℃时,干燥初始阶段的调整期不明显,能够保证较快的干燥速率,30 min内水的脱除率即可达到90%。随着干燥温度的降低,调整期变长,干燥速率迅速下降,水的脱除量急剧减少。干燥温度为200℃时,达到90%除水率的时间为53 min。温度为150℃时,10 min内,半焦含水率仅下降了1.84%,60 min内水的脱除率只有60%。这是由于半焦为多孔介质,干燥速率主要取决于内部水分移动到表面的速率^[8]。且半焦内部含有大量微米级孔道^[12],受孔道中水分凹表面曲率的影响,其饱和蒸气压低于纯水的蒸气压,要想使其中水分顺利析出,就需要更高的温度。结果表明,干燥温度对半焦的干燥速率有很大影响,且半焦本身为多孔结构,因此,为使半焦达到预定含水率,必须保证干燥过程在一定温度下进行。考虑到单位时间内的处理量,其干燥温度应控制在200℃以上为宜。

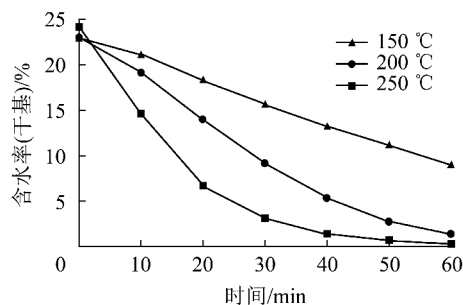


图2 干燥温度对干燥效果的影响

Fig. 2 The effect of drying temperature on drying process

2.3 鼓风对半焦干燥效果的影响

取 30 mm 半焦 500 g, 放入鼓风干燥箱内, 干燥温度设定为 200 °C, 通过鼓风机的启闭, 考察有无鼓风对干燥效果的影响, 结果如图 3 所示。通常情况下, 通风有助于提高水分蒸发速率, 缩短干燥时间^[10]。由图 3 可知, 在有鼓风条件下, 半焦的干燥速率较大, 30 min 内水的脱除率即可达到 83%, 而在无鼓风条件下, 相同时间内水的脱除率只有 60%。有鼓风条件下, 干燥进行得比较彻底, 干燥脱水率可提高 23%。实验过程中, 将鼓风机的鼓风速率调至最大, 以确保半焦中析出水分的及时散逸。

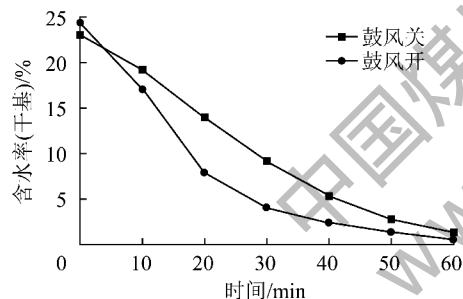


图3 通风条件对干燥效果的影响

Fig. 3 The effect of convection condition on drying process

2.4 堆积厚度对半焦干燥效果的影响

物料干燥通常采用气流干燥方式^[10,13], 粒径较大的物料, 由于堆积密度小, 气流可以较自由地在颗粒空隙间流动, 因此, 堆积厚度对干燥效果的影响较小^[14], 此时决定物料干燥速率的关键因素是粒度、温度。相反, 若物料直径较小, 堆积时易导致颗粒间气流不畅, 不仅外部热量无法迅速传至物料, 而且物料析出的水分也无法快速导出, 并且堆积越厚, 干燥效果越差^[10], 故对小颗粒在不同堆积厚度时的干燥特性进行研究非常必要。本文选取 30 mm 半焦, 干燥温度 200 °C, 在鼓风条件下, 考察了不同堆积厚度下小粒径半焦的干燥特性, 结果如图 4 所示。

由图 4 可知, 在干燥初始阶段, 30 与 50 mm 堆

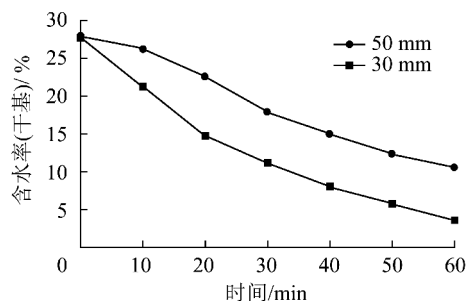


图4 堆积厚度对干燥效果的影响

Fig. 4 The effect of stack thickness on drying process

积厚度半焦的干燥速率相差很大, 说明随着厚度的增加, 气流在颗粒间的流动阻力越大, 严重影响热量传入, 因此, 物料升温速率较慢, 需要较长的调整期, 导致达到预定含水率的时间延长。

3 结 论

1) 在恒定的干燥条件下, 半焦粒径对干燥速率的影响极为显著。粒径从 10 mm 增大到 50 mm, 干燥速率逐渐下降, 达到干基含水率小于 1% 所需时间分别为 31 和 57 min。综合考虑, 30 mm 半焦粒径较优。

2) 30 mm 半焦干燥温度应控制在 200 °C 以上为宜, 干燥 53 min 脱水率达到 90%。

3) 干燥过程增加通风对流有助于提高水分蒸发速率, 单层通风对流干燥脱水率可提高 23%。

4) 干燥初始阶段, 30 与 50 mm 堆积厚度半焦的干燥速率相差很大, 说明随着厚度的增加, 气流在颗粒间的流动阻力增大, 影响热量传入, 调整期延长。

参考文献:

- [1] 王永军. 煤干馏生产半焦、煤焦油及干馏炉煤气的发展前景[J]. 燃料与化工, 2010, 41(1): 9-11.
Wang Yongjun. Developing prospect for production of semi coke, coal tar and retort oven gas[J]. Fuel & Chemical Processes, 2010, 41(1): 9-11.
- [2] 李淑芬. 湿法熄焦中焦炭水分的影响因素[J]. 辽宁化工, 2014, 43(3): 317.
Li Shufen. Influence factors of coke moisture in wet coke quenching process[J]. Liaoning Chemical Industry, 2014, 43(3): 317.
- [3] 赵乃成, 张启轩. 铁合金生产实用技术手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006: 431-437.
Zhao Naicheng, Zhang Qixuan. Handbook of practical technology for iron alloy production [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006: 431-437.
- [4] 熊谟远. 电石生产及其深加工产品[M]. 北京: 化学工业出版社, 1989: 97-105.

- Xiong Moyuan. Calcium carbide production and its deep processing products[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1989: 97-105.
- [5] 杨天钧. 高炉富氧煤粉喷吹[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996: 20-57.
- Yang Tianjun. Oxy-fuel injection of pulverized coal in blast furnace[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996: 20-57.
- [6] 陈鹏. 低阶煤低温干燥工艺及其对煤性质的影响研究[D]. 唐山: 河北理工大学, 2010: 53.
- Chen Peng. Studies on low temperature dryness technology and the effect on characters of low rank coal[D]. Tangshan: Hebei Polytechnic University, 2010: 53.
- [7] 秦谊, 张惠芬, 夏美英, 等. 褐煤综合利用中原料煤干燥特性研究[J]. 化学工程, 2015, 43(11): 60-65.
- Qin Yi, Zhang Huifen, Xia Meiyang, *et al.* Drying characteristics of raw coal in comprehensive utilization of brown coal[J]. Chemical Engineering(China), 2015, 43(11): 60-65.
- [8] 刘芳侯. 焦炭干燥工艺的优化[J]. 湖南化工, 1995, 25(2): 63-64.
- Liu Fanghou. The optimization of coke drying process[J]. Hunan Chemical Industry, 1995, 25(2): 63-64.
- [9] 周永鑫, 程小三, 刘广新. 焦炭吸水性试验[J]. 江西冶金, 2007, 27(1): 41-42.
- Zhou Yongxin, Cheng Xiaosan, Liu Guangxin. Test of coke adsorption on water[J]. Jiangxi Metallurgy, 2007, 27(1): 41-42.
- [10] 谭天恩, 麦本熙, 丁惠华. 化工原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 215-266.
- Tan Tian'en, Mai Benxi, Ding Huihua. Unit operations of chemical engineering[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998: 215-266.
- [11] 杨云龙. 蒙东褐煤的干燥特性及其对水分复吸的影响[D]. 太原: 太原理工大学, 2010: 33.
- Yang Yunlong. Drying characteristics of East Inner Mongolia lignite and effect on the readsorption moisture[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2010: 33.
- [12] 付志新, 郭占成. 焦化过程半焦孔隙结构时空变化规律的实验研究: 孔隙率、比表面积、孔径分布的变化[J]. 燃料化学学报, 2007, 35(3): 273-279.
- Fu Zhixin, Guo Zhancheng. Variation of pore structure of semi-coke with temperature and spatial location during pyrolysis- porosity, specific surface area and pore size distribution[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 2007, 35(3): 273-279.
- [13] 熊程程, 向飞, 吕清刚. 褐煤干燥特性的试验研究[J]. 化学工程, 2011, 39(8): 74-78.
- Xiong Chengcheng, Xiang Fei, Lyu Qinggang. Experimental study on drying characteristics of lignite[J]. Chemical Engineering(China), 2011, 39(8): 74-78.
- [14] 邸传耕, 吕舜. 低温干燥对褐煤性能的影响[J]. 煤炭加工与综合利用, 2008(4): 26-28.
- Di Chuangeng, Lyu Shun. The effect of low temperature drying on lignite characteristics[J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2008(4): 26-28.

(上接第4页)

该CMS可用于分离 CH_4 与 N_2 的混合气体。

4) 利用PSA吸附塔对实际抽采煤层气的提浓运行考察, 说明BMCMS具有与商业JCCMS相仿的 CH_4 提浓效果, 可将煤层气浓度提高25.6%, 具有工业应用价值。

参考文献:

- [1] 王鹏, 石耀琦, 马正飞, 等. CH_4/N_2 在炭分子筛上的吸附平衡与扩散模型[J]. 高校化学工程学报, 2014, 28(3): 484-488.
- Wang Peng, Shi Yaoqi, Ma Zhengfei, *et al.* Study on adsorption equilibrium and diffusion model of CH_4 and N_2 on a carbon molecular sieve[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2014, 28(3): 484-488.
- [2] 史乃弘. CMS CH_4 浓缩甲烷碳分子筛吸附剂[J]. 天然气化工, 2014, 39(6): 44-62.
- Shi Naihong. Carbon molecular sieve CMS CH_4 for adsorptive concentration of methane[J]. Nature gas Chemical Industry, 2014, 39(6): 44-62.
- [3] 郝丽娜, 解强, 李兰廷, 等. 金属盐催化制备煤基中孔活性炭的研究[J]. 炭素技术, 2008, 27(4): 26-29.
- Hao Li'na, Xie Qiang, Li Lanting, *et al.* Catalytical preparation of mesoporous coal based activated carbon by nitrate copper and nitrate manganese[J]. Carbon Techniques, 2008, 27(4): 26-29.
- [4] 刘利恒, 辜敏, 鲜学福, 等. 粘结剂对颗粒活性炭PSA分离 CH_4/N_2 性能的影响[J]. 材料研究学报, 2011, 25(3): 250-254.
- Liu Liheng, Gu Min, Xian Xuefu, *et al.* Effect of binders on CH_4/N_2 performances of granular activated carbons by pressure swing adsorption[J]. Chinese Journal of Materials Research, 2011, 25(3): 250-254.
- [5] Cui Xiaojun, Bustin R M, Dipple G. Selective transport of CO_2 , CH_4 and N_2 in coals insights from modeling of experimental gas adsorption data[J]. Fuel, 2004, 83(3): 294-304.
- [6] 张薄, 辜敏, 鲜学福. 炭分子筛的结构和表面性质对其吸附分离 CH_4/N_2 和 CO_2/N_2 的影响[J]. 功能材料, 2012, 43(20): 2860-2861.
- Zhang Bo, Gu Min, Xian Xuefu. Effects of structure and surface property on adsorptive separation of carbon molecular sieve for CH_4/N_2 and CO_2/N_2 [J]. Journal of Functional Materials, 2012, 43(20): 2860-2861.
- [7] 孙培德. 煤与甲烷气体相互作用机理的研究[J]. 煤, 2000, 9(1): 18-21.
- Sun Peide. Study on the mechanism of interaction for coal and methane gas[J]. Coal, 2000, 9(1): 18-21.