

不同粒度北露天褐煤的热解特性

赵小楠^{1,2}, 丁力^{1,2}, 郭启海^{1,2}, 董宾^{1,2}, 吴道洪^{1,2}

(1.北京神雾环境能源科技集团股份有限公司,北京 102200; 2.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)

摘要:为考察褐煤固定床热解过程的适宜粒度范围,以典型的北露天褐煤为研究对象,在自制的 3 kg 固定床热解装置上进行了粒度 0~50 mm 煤样的热解试验。考察了粒度对热解产物、热解时间、挥发物中含尘量的影响。结果表明,褐煤粒度从 0~10 mm 增至 40~50 mm,热解时间、焦油和荒煤气中含尘量都呈减小趋势,热解时间从 197 min 减少到 164 min,单位体积荒煤气中含尘量从 0.022 0 mg/L 减少到 0.011 3 mg/L,且焦油中含尘量均大于荒煤气中含尘量;粒度为 20~30 mm 时,褐煤热解过程的挥发物逸出阻力较小,二次反应和碳沉积概率较小,比较适宜热解。

关键词:褐煤; 粒度; 热解特性; 挥发物中含尘量

中图分类号:TQ52 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2016)06-0052-04

Pyrolysis characteristics of Beilutian lignite of different particle sizes

ZHAO Xiaonan^{1,2}, DING Li^{1,2}, GUO Qihai^{1,2}, DONG Bin^{1,2}, WU Daohong^{1,2}

(1.Beijing Shenwu Environment & Energy Technology Co., Ltd. Beijing 102200, China;

2.Pyrolysis and Quality Engineering Technology Research Center of Low Rank Coal and Organic Waste in Beijing Beijing 102200, China)

Abstract: In order to study the optimal particle size for lignite pyrolysis in the fixed bed, taking Beilutian lignite as coal samples, the pyrolysis experiments of 0 to 50 mm particle size coal samples in a self-made 3 kg fixed bed pyrolysis device were conducted. The influence of lignite particle size on pyrolysis products, pyrolysis time and dust content in volatile matter were investigated. The results showed that, with the lignite particle size increasing from 0~10 mm to 40~50 mm, the pyrolysis time and dust content in tar and coke-oven gas decreased. The pyrolysis time reduced from 197 minutes to 164 minutes, the dust content in the raw gas per unit volume decreased from 0.022 mg/L to 0.011 3 mg/L, and the dust content in the tar was greater than that in the raw gas. The lignite of 20~30 mm particle size was suitable for pyrolysis, because the resistance of volatiles escape during pyrolysis was smaller and the secondary reaction and carbon deposition hardly occurred.

Key words: lignite; particle size; pyrolysis characteristics; dust content in volatile matter

0 引 言

我国资源格局是富煤、贫油、缺气,已探明的化石能源储量中,煤炭占 94.3%,石油、天然气仅占 5.7%。在我国煤炭资源储量中,低阶煤约占我国煤炭保有资源量的 50%。低阶煤直接利用效率低,而通过热解可以获得提质煤、焦油和煤气,大幅度提高利用效率,实现资源的综合利用^[1-2]。煤热解是将煤在隔绝空气的条件下加热到一定温度,发生一系列复杂的物理变化和化学反应,有效提取其中的油、

气产品,并获得高品质半焦。热解油、热解气进一步深加工,可以生产多种燃料和化工产品,而半焦则可作为气化造气、燃烧发电、制备高性能碳材料等的原料,从而实现煤炭分质梯级利用。目前已形成的煤热解工艺有直立炉、流化床、旋转床等^[3-7],但不同的热解工艺对原料的适应性存在差异。因此,针对热解工艺选择合适的原料是未来煤炭热解产业发展中的关键问题之一。在褐煤热解尤其是块煤热解过程中,粒度分布是影响热解效果重要因素,粒度决定热解过程中热量传递速率和热解产物的性质。褐煤

收稿日期:2016-08-03;责任编辑:白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2016.06.010

作者简介:赵小楠(1982—),女,河南商人,博士,从事煤的清洁高效利用技术研究工作。E-mail: zhaonan354@163.com

引用格式:赵小楠,丁力,郭启海,等.不同粒度北露天褐煤的热解特性[J].洁净煤技术,2016,22(6):52-55.

ZHAO Xiaonan, DING Li, GUO Qihai, et al. Pyrolysis characteristics of Beilutian lignite of different particle sizes [J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(6): 52-55.

粒度越大,热解越不充分,且一次挥发产物在块煤中停留时间过长会造成二次热解,导致焦油产率降低;而褐煤粒度越小,褐煤的孔隙率过小,热解气中粉尘量增加,热解气排出困难也造成二次热解等问题^[8-9]。因此,选择合适的粒径对块煤热解尤为重要。王子兵等^[10]研究了热解温度、粒径和保温时间对印尼苏门答腊岛褐煤半焦成分、产率和发热量的影响。白效言^[11]考察了热解温度 500~750 °C 小粒径低阶煤热解特性。吕太等^[12]使用美国 Perkin Elmer 公司生产的 Pyris 1TGA 热重分析仪,对不同粒径煤采用非等温热重法进行了试验研究。但是采用的热解装置普遍较小,未能充分表征煤在工业化热解过程中的宏观变化,无法为煤热解产业化提供有效的数据支持。笔者在自制的热解装置上,以具有代表性的北露天褐煤为研究对象,考察了煤样粒度对热解产物产率和性质、挥发物中含尘量、热解时间的影响。通过研究不同粒度北露天褐煤的热解特性,为我国不同粒度褐煤选择合适的热解工艺提供参考依据,对提高不同粒度褐煤热解产品的产率和品质具有重要意义。

1 试验

1.1 试验方法

试验采用自主研发的热解试验装置(图 1),处理量为 3 kg。该装置由反应系统、油水冷凝系统、热解气测量、仪表控制系统等组成。其中,反应系统由反应炉、加热炉和保温层构成,利用外热式加热方式;油水冷凝系统由两级冷凝器和液体收集罐构成;

热解气储存和测量系统包括储气罐、真空泵和湿式流量计等。

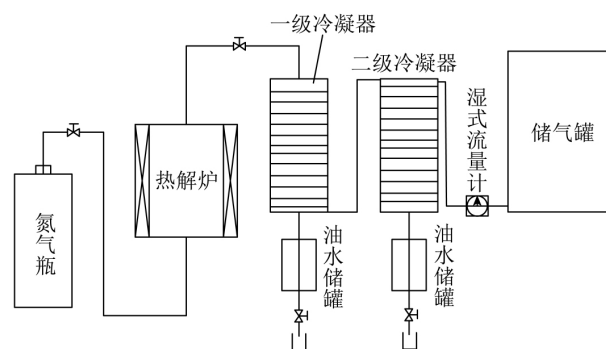


图 1 低温热解工艺流程

Fig. 1 The process chart of low temperature pyrolysis

试验过程如下:煤样经破碎、筛分后装入热解炉,记录料层厚度,用 N_2 吹扫,设定热解温度、升温速率和停留时间,记录湿式流量计初值,开始试验。热解产生的荒煤气经冷凝系统冷凝,油/水混合物进入储液罐;粗煤气由冷凝器排出,通过湿式流量计计量;当热解达到程序设定的停留时间后,试验结束。关闭加热系统,记录流量计数据。将储液罐中的油/水混合物移入分液漏斗中进行静置、分层、分离、称重,待反应炉温度低于 50 °C 后取出半焦,称重。

1.2 原料性质

试验选用北露天褐煤,煤样粒度为 0~50 mm,考察煤样粒度对热解产物产率和性质、挥发物中含尘量、热解时间的影响。原煤的煤质分析见表 1。由表 1 可知,煤样的全水分分为 25.98%,干燥无灰基挥发分高,为 47.73%,通过热解可以获得油、气和半焦。

表 1 原煤的煤质分析

Table 1 Coal quality analysis of raw coal

工业分析/%					元素分析/%			
M_t	M_{ad}	A_d	V_{daf}	FC_d	$w(S_{t,d})$	$w(C_{daf})$	$w(H_{daf})$	$w(N_{daf})$
25.98	11.70	11.95	47.73	46.02	0.24	85.17	4.82	0.76

煤样粒度是影响孔隙率的主要因素之一,孔隙率又会影响煤样热解过程的传热、传质、能耗等参数。因此,试验对不同粒度煤样的视密度、堆密度及孔隙率进行测量,测试结果见表 2。

由表 2 可知,褐煤的视密度为 1 260 kg/m³,堆密度为 460~602 kg/m³,孔隙率为 0.52%~0.64%。随着粒度增大,堆密度逐渐减小,而孔隙率逐渐增大,视密度几乎不变。

2 试验结果与讨论

2.1 粒度对热解产物的影响

不同粒度条件下热解产物的产率(干基)如图 2 所示,气体性质如图 3 所示。

煤样粒度影响加热速率和挥发物从煤内部逸出速率。由图 2 可知,煤焦油、热解水产率在 0~30 mm 内随粒度增大而增大,在 30~50 mm 随粒度

增大而减小;热解气产率在0~20 mm内随粒度增大而减少,20~50 mm随粒度增大而增大;半焦产率随粒度的变化与煤焦油相反。随着煤样粒度增大,煤焦油和热解气的产率呈先升高后降低的趋势,而半焦产率则呈先降低后升高的趋势。分析原因为煤样粒度较小时,煤样热解床层的孔隙率(即颗粒间的阻力)对热解产物的产率影响起主要作用,随孔隙率增大,挥发物从颗粒间逸出的阻力减小,二次反应和碳沉积概率减小;而煤样粒度较大时,粒度对热解产物的产率影响较大,随粒度增大,挥发物从颗粒内部逸出阻力增大,二次反应和碳沉积概率增大。

表2 不同粒度褐煤的密度及孔隙率

Table 2 The density and porosity of lignite with different particle sizes

块煤粒度/mm	视密度/(kg·m ⁻³)	堆密度/(kg·m ⁻³)	孔隙率/%
<10	1 260	601.84	0.52
10~20	1 260	507.97	0.60
20~30	1 260	494.39	0.61
30~40	1 260	460.12	0.63
40~50	1 260	458.10	0.64

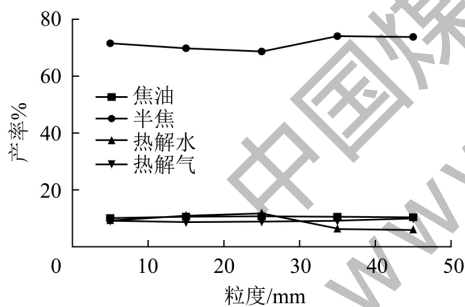


图2 不同粒度褐煤热解产物产率

Fig. 2 Pyrolysis products yield of lignite with different particle sizes

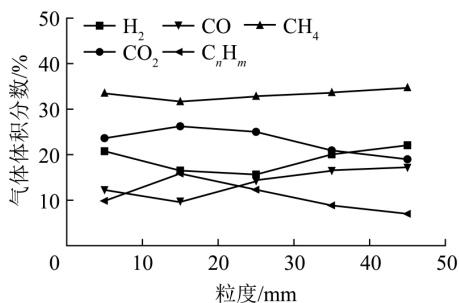


图3 不同粒度褐煤的热解煤气组成

Fig. 3 Pyrolysis gas composition of lignite with different particle sizes

由图3可知,随着煤样粒度增大,热解气中H₂、CH₄、CO的体积分数先减小后增加,CO₂、C_nH_m的体积分数先增加后减少。粒度低于10 mm时,煤样床层的孔隙率较少,床层阻力较大,大分子挥发物在从床层逸出过程中发生分解反应,生成小分子物质,如CO₂在逸出过程中与C反应生成CO,C_nH_m在逸出过程中发生分解反应生成CH₄、H₂等小分子物质,导致粒度低于10 mm的煤热解后热解气中H₂、CH₄、CO的体积分数较同条件下粒度10~20 mm的偏高,而CO₂、C_nH_m的体积分数较低。随着粒度增加,床层孔隙率增加,挥发物在逸出中分解概率减少;但随着颗粒粒度的增加,挥发物从颗粒内部逸出过程中阻力增加,大分子挥发物在从颗粒内部向外逸出过程中发生分解反应,生成小分子物质也易发生分解。

综合分析图2和图3得出:粒度为20~30 mm时,北露天褐煤热解时挥发物逸出阻力较小,二次反应和碳沉积概率较小,褐煤热解过程中产油率相对其他粒度较高,因此,若以焦油为主要热解产品,采用粒度20~30 mm的褐煤比较适宜。

2.2 粒度对挥发物中含尘量的影响

不同粒度的褐煤热解后,焦油和荒煤气中的含尘量如图4所示。由图4可知,焦油和荒煤气中的含尘量都随煤样粒度的增大呈减小趋势;且焦油中含尘量均大于荒煤气含尘量。煤样粒度从0~10 mm增大到40~50 mm时,单位体积荒煤气中含尘量从0.022 0 mg/L降到了0.011 3 mg/L。可见,随煤样粒度减小,热解过程中产生更多粉尘,更容易被挥发物带出。另外,由于焦油的黏度比水大,粉尘更容易与焦油结合。

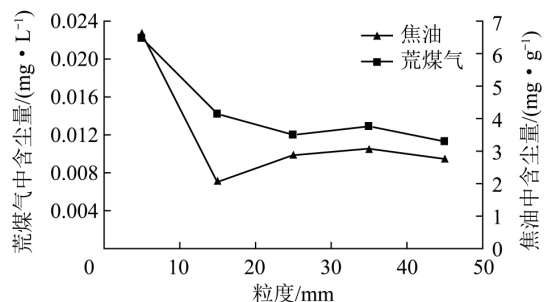


图4 不同粒度褐煤热解后挥发物中含尘量

Fig. 4 The dust content of volatile matter of lignite with different particle sizes after pyrolysis

2.3 粒度对热解时间的影响

本文中提到的热解时间主要包括热解升温时间

(从开始升温至达到设定热解温度的时间)和高温停留时间(试验达到设定热解温度后的保温时间,本文的高温停留时间设定为1 h)。粒度对热解时间影响较大,不同粒度褐煤的热解时间如图5所示。

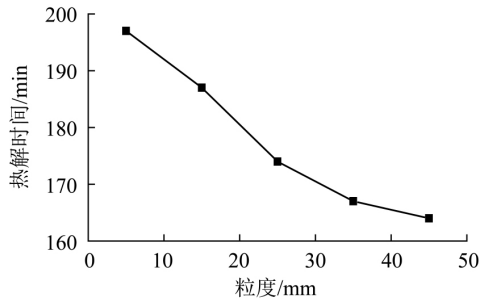


图5 粒度对褐煤热解时间的影响

Fig. 5 The influence of particle sizes on pyrolysis time

由图5可知,粒度为0~10 mm时热解时间为197 min,粒度为20~30 mm时为174 min。随着粒度增大,热解时间减少。原因为粒度决定热解过程中热量传递速率,随粒度增大,颗粒之间孔隙率增大,热量在颗粒间传热传质阻力减小,因此,热解时间缩短;但随着粒度增大,热量在煤颗粒内部传热传质阻力增大,热解不充分,导致挥发分提取率偏低。

3 结 论

1) 随褐煤粒度的增大,煤焦油、热解水产率在0~30 mm内随粒度增大而增大,在30~50 mm随粒度增大而减小;热解气产率在0~20 mm内随粒度增大而减少,20~50 mm随粒度增大而增大;半焦产率随粒度的变化与煤焦油相反。

2) 随褐煤粒度的增大,热解时间逐渐减少,焦油和荒煤气中的含尘量呈减小趋势,且焦油中含尘量大于荒煤气中含尘量,当粒度小于10 mm时,热解煤气中的含尘量明显上升,而当粒径大于10 mm时,热解煤气中的含尘量随着粒径增大略有波动。因此,若以焦油为主要热解产品,采用粒度20~30 mm褐煤比较合适。

参考文献(References):

[1] 李宏岳. 能源消费和中国经济增长关系研究[J]. 经济问题探讨, 2012(1): 14-19.
Li Hongyue. Study of the relationship between energy consumption and economic growth of China [J]. Inquiry Into Economic Issues, 2012(1): 14-19.

[2] 王建国, 赵晓红. 低阶煤清洁高效梯级利用关键技术与示范[J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(3): 382-388.

Wang Jianguo, Zhao Xiaohong. Demonstration of key technologies for clean and efficient utilization of low-rank coal [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2012, 27(3): 382-388.

- [3] 徐瑞芳. 陕北煤低温干馏生产工艺及改进建议[J]. 洁净煤技术, 2010, 16(2): 41-44.
Xu Ruifang. Progress of low temperature coal carbonization and improvement suggestions in Northern Shanxi [J]. Clean Coal Technology, 2010, 16(2): 41-44.
- [4] 李文英, 喻长连, 李晓红, 等. 褐煤固体热载体催化热解研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(5): 111-115.
Li Wenying, Yu Changlian, Li Xiaohong, et al. Research progress on catalysis thermolysis of lignite solid heat carrier [J]. Coal Science and Technology, 2012, 40(5): 111-115.
- [5] 刘书贤, 门卓武, 郭屹, 等. 块煤热解提质工艺及反应器开发进展[J]. 洁净煤技术, 2015, 21(4): 67-73.
Liu Shuxian, Men Zhuowu, Guo Yi, et al. Status and development of lump coal pyrolysis and reactor design technologies [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(4): 67-73.
- [6] 朱海月. 小粒径低阶煤低温热解研究进展[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(3): 79-82.
Zhu Haiyue. Research progress of small sized low rank coal pyrolysis at low temperature [J]. Clean Coal Technology, 2013, 19(3): 79-82.
- [7] 吴道洪. 无热载体蓄热式旋转床煤热解新工艺[C]//2012 中国国际煤化工发展论坛论文集. 北京: 中国国际煤化工发展论坛, 2012.
- [8] 周琦. 低阶煤提质技术现状及完善途径[J]. 洁净煤技术, 2016, 22(2): 23-30.
Zhou Qi. Status and improvement approach of low rank coal upgrading technologies [J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(2): 23-30.
- [9] 荀华, 韩建春, 刘伟. 粒度和升温速率对低热值煤样热解的影响研究[J]. 电站系统工程, 2012, 28(1): 13-15, 18.
Xun Hua, Han Jianchun, Liu Wei. Particle size and heating rate on the low calorific value coal pyrolysis effect research [J]. Power System Engineering, 2012, 28(1): 13-15, 18.
- [10] 王子兵, 李从昭, 赵斌, 等. 块状褐煤低温热解制备半焦的实验研究[J]. 中国煤炭, 2013, 39(12): 92-95.
Wang Zibing, Li Congzhao, Zhao Bin, et al. Experimental study on massive lignite prepare semicoke by low-temperature pyrolysis [J]. China Coal, 2013, 39(12): 92-95.
- [11] 白效言. 小粒径低阶煤热解特性试验研究[J]. 洁净煤技术, 2015, 21(5): 76-79.
Bai Xiaoyan. Experimental research on pyrolysis characteristics of small particle size low rank coal [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(5): 76-79.
- [12] 吕太, 张翠珍, 吴超. 粒径和升温速率对煤热分解影响的研究[J]. 煤炭转化, 2005, 28(1): 17-20.
Lyu Tai, Zhang Cuizhen, Wu Chao. Study on the effect of coal diameter and heating rate on the coal pyrolysis [J]. Coal Conversion, 2005, 28(1): 17-20.