

# 印尼褐煤快速热解试验研究

耿层层<sup>1,2</sup>, 陈水渺<sup>1,2</sup>, 张宏伟<sup>1,2</sup>, 梅磊<sup>1,2</sup>, 姜朝兴<sup>1,2</sup>, 任守强<sup>1,2</sup>, 肖磊<sup>1,2</sup>, 吴道洪<sup>1,2</sup>

(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:**为考察神雾快速热解炉的产品产率及产品性质, 将神雾蓄热式快速热解工业炉型按一定比例缩小, 在实验室自建的快速热解小试试验装置上, 考察了热解温度对热解产物产率的影响, 并对产物性质进行分析。结果表明, 印尼褐煤快速热解最佳反应温度为 590 ℃, 印尼褐煤油收率为 9.91%, 高达格金含油率的 95%, 快速热解装置油收率较高。与固定床热解煤焦油相比, 快速热解煤焦油的密度、黏度、凝点和残炭含量均较低。模拟蒸馏结果表明, 快速热解煤焦油中汽油馏分为 2%, 柴油馏分为 44%, 重油馏分为 54%。印尼褐煤快速热解气中的主要组分是 CH<sub>4</sub> 和 H<sub>2</sub>, 热值较高。

**关键词:** 印尼褐煤; 快速热解; 煤焦油; 固定床热解

中图分类号: TQ53

文献标志码: A

文章编号: 1006-6772(2016)03-0045-04

## Flash pyrolysis of Indonesian lignite

GENG Cengceng<sup>1,2</sup>, CHEN Shuimiao<sup>1,2</sup>, ZHANG Hongwei<sup>1,2</sup>, MEI Lei<sup>1,2</sup>, JIANG Chaoxing<sup>1,2</sup>,  
REN Shouqiang<sup>1,2</sup>, XIAO Lei<sup>1,2</sup>, WU Daohong<sup>1,2</sup>

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

2. Beijing Low-rank Coal and Organic Waste Pyrolysis Technology Engineering Research Center, Beijing 102200, China)

**Abstract:** In order to investigate the product yield and characteristics of Shenwu flash pyrolysis furnace, a new flash pyrolysis equipment was built in laboratory by reducing the regenerative Shenwu flash pyrolysis furnace in accordance with certain proportion. Then the influence of pyrolysis temperature on product yield and characteristics was analyzed. The results showed that the best operating temperature was 590 ℃, with the oil yield of 9.91%. The properties of coal tar from flash pyrolysis experimental installation, such as density, viscosity, freezing point and carbon residue, were lower than those of coal tar obtained from fixed bed. The results of simulation distillation showed that the gasoline fraction was 2%, the diesel fraction was 44%, while the heavy oil fraction was 54%. The flash pyrolysis gas of Indonesian lignite was mainly consist of CH<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>.

**Key words:** Indonesian lignite; flash pyrolysis; coal tar; fixed bed pyrolysis

## 0 引 言

煤炭是自然界中分布最广、储量最多的一种常规能源。我国探明的煤炭可采储量居世界第三位, 是世界上最大的煤炭进口国和消费国<sup>[1-3]</sup>。因此, 煤炭资源是一种不可替代的重要资源, 未来较长时间内, 我国仍需要将煤炭资源放在国家主体能源地位<sup>[4-6]</sup>。煤低温热解可以制取高级油、气产品, 半焦可做清洁燃料燃烧发电, 在环保、能耗和经济性方面

具有优势, 被认为是煤炭高效清洁利用有效的途径<sup>[7-8]</sup>。当前, 用于工业生产的煤炭热解工艺主要有我国的三江方炉、大连理工大学的固体热载体干馏工艺和多段回转炉热解工艺<sup>[9]</sup>, 国外的 Toscoal 工艺<sup>[10]</sup>、伍德炉<sup>[11]</sup>、Carret 工艺<sup>[12]</sup>、日本快速热解技术、鲁奇三段炉、考伯斯炉以及美国的褐煤提质技术 (LFC) 等<sup>[13]</sup>。一些干馏炉型如三江方炉、伍德炉、鲁奇三段炉等对原料的粒径要求高, 只能处理块状物料, 造成小颗粒物料无法充分利用, 资源利用率不

收稿日期: 2016-01-12; 责任编辑: 白娅娜 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2016.03.010

基金项目: 中小企业发展专项资金资助项目 (SQ2013ZOA000003)

作者简介: 耿层层 (1986—), 男, 山东淄博人, 博士, 从事煤、油页岩、油砂方面研究工作。E-mail: gengtn01@sina.com

引用格式: 耿层层, 陈水渺, 张宏伟, 等. 印尼褐煤快速热解试验研究[J]. 洁净煤技术, 2016, 22(3): 45-48.

GENG Cengceng, CHEN Shuimiao, ZHANG Hongwei, et al. Flash pyrolysis of Indonesian lignite[J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(3): 45-48.

高且大量堆积污染环境;一些炉型如三江方炉、鲁奇三段炉、LFC干馏技术等油收率不高,且以气体为加热载体,造成冷凝回收系统庞大,热解干馏气被冲稀,气体热值低,难以进一步综合利用等问题;一些固体热载体热解炉型如大连理工大学的固体热载体干馏工艺、Toscoal工艺等,则存在原料与热载体混合,以及热载体再加热返混等众多工序,工艺较为复杂、设备较多,制造成本和运行费用高昂。鉴于这些问题,北京神雾环境能源科技股份有限公司(简称神雾集团)自主设计了神雾蓄热式下行快速热解炉。该热解炉由神雾集团核心技术蓄热式辐射管作为加热原件,并耦合化工领域成熟的下行床反应器制造而成。神雾蓄热式辐射管利用定期换向的燃烧方式,使燃烧所用空气预热到较高温度(可

达1 000℃以上),进而可使用 $2.93 \text{ MJ/m}^3$ 的低热值气作为加热燃料,燃烧烟气的排烟温度可低至150℃以下,提高了系统热效率。辐射管定期换向的燃烧方式,使得单根辐射管的表面温差只有30℃左右,没有局部高温区,能够保证热解温度场的均匀性。笔者以印尼褐煤为研究对象,将神雾蓄热式快速热解工业炉型按一定比例缩小,在实验室自建的快速热解小试装置上,研究了热解温度对产品分布的影响,并对产品性质进行分析,以考察神雾快速热解炉的产品产率及性质。

## 1 试验

### 1.1 试验原料

印尼褐煤格金含油率和工业分析结果见表1。

表1 印尼褐煤基本性质分析

Table 1 Properties analysis of Indonesia lignite

格金含油率(收到基)/%				工业分析/%			
含油率	水含量	半焦含量	干馏气	$M_{ad}$	$V_{ad}$	$A_{ad}$	$FC_{ad}$
10.35	8.75	71.15	9.75	6.67	33.30	8.06	51.88

### 1.2 试验装置

神雾蓄热式快速热解工艺为:粒径小于3 mm粉状煤料,通过螺旋进料器进入热解炉内,利用物料均布技术,使物料快速均匀经过辐射管,自上而下在热解炉内停留7 s,完成热解过程。热解后半焦经过冷渣螺旋排出,送入煤粉锅炉燃烧发电,热解油气经过冷凝回收系统后可制得人造石油和人造天然气。蓄热式辐射管的热源由神雾粉煤气化炉产生低热值煤气燃烧供给。神雾蓄热式快速热解工艺可以处理粉煤,提高了原料的利用率,通过快速热解反应,可得到较高的油气收率,并克服了传统工艺带来的工艺流程复杂和热解产物难以综合利用等问题。该工艺采用模块化组合方式,可将装置放大到年处理量百万吨级的规模。

快速热解装置主要由进料、反应、温度控制和产物收集系统组成。快速热解反应器筒体尺寸为300 mm×200 mm×4 000 mm。反应器由加热棒模拟工业装置的蓄热式辐射管进行加热,每段加热炉有10根加热棒,反应器总长3 000 mm,从上向下共4段,长度分别为945、970、970和1 115 mm。温度控制误差±5℃,反应器保温层厚100 mm。炉壳外径300 mm。反应器内设置4个测温点。

试验开始前,将 $N_2$ 通入反应器顶部,测定反应器出口处 $O_2$ 含量,直至 $O_2$ 含量低于1%,才可开始试验。当反应器内温度达到设定温度后,开启进料螺旋以5 kg/h进料量向反应器内投料。物料快速而均匀经过辐射管,自上而下在热解炉内停留6 s,完成热解过程。热解后半焦进入收集罐中,在收集罐上方设置油气出口,出口位置设置油气过滤芯。油、气产品经蛇形冷凝管冷却后收集。不能冷凝的干馏气通过湿式气体流量计测后排入储气罐。

### 1.3 分析方法

采用安捷伦6890气相色谱仪进行热解气组分的测定,可得到热解气中各气体组分的体积分数。安捷伦6890气相色谱仪可将各气体组分分离并进行定性、定量分析,利用热导检测器对 $CO_2$ 、 $H_2$ 、 $CO$ 、 $CH_4$ 等气体进行测定,并利用数据软件进行计算,得到气体组成数据。

采用安捷伦6890模拟蒸馏色谱仪对液体产品的馏程分布进行分析。液体馏分中,设定汽油馏分、柴油馏分和重油馏分分别为初馏点~180℃馏分油、180~360℃馏分油和大于360℃馏分油。

## 2 结果与讨论

### 2.1 反应温度对产品分布的影响

当原料粒径 $<3\text{ mm}$ ,反应时间为 $6\text{ s}$ 时,在反应温度为 $500\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,考察了反应温度对快速热解产品分布的影响,结果如图1所示。

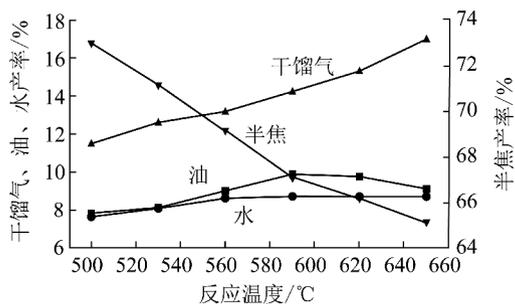


图1 反应温度对产物分布的影响

Fig.1 Effect of reaction temperature on product distributions

由图1可知,随反应温度升高,干馏气产率增加,半焦产率下降,煤焦油产率先升高后降低,在 $590\text{ }^{\circ}\text{C}$ 达到最大值 $9.91\%$ , $590\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之后略有降低。

表2 煤焦油基本性质分析

Table 2 Properties analysis of coal tar

油品	凝点/ $^{\circ}\text{C}$	水分/%	灰分/%	残炭含量/%	密度( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )/( $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )	运动黏度( $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ )/( $\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ )
快速热解油	25	1.76	0.022	4.37	1 009.3	14.21
固定床热解油	27	2.53	0.035	6.76	1 033.6	16.83

### 2.2.2 四组分分析

对快速热解煤焦油和固定床热解煤焦油进行了四组分分析,结果见表3。

表3 煤焦油四组分分析结果

Table 3 Four components analysis of coal tar

样品	质量分数/%			
	饱和分	芳香分	胶质	沥青质
快速热解油	11.63	17.52	42.64	23.82
固定床热解油	7.33	15.51	47.16	25.59

由表3可知,快速热解油的饱和分和芳香分含量均高于固定床热解油,而胶质和沥青质含量则低于固定床热解油,可见快速热解油品性质较好,轻油较多。

### 2.2.3 煤焦油模拟蒸馏

对快速热解煤焦油进行馏程分布分析,结果见表4。由表4可知,快速热解煤焦油中汽油、柴油和

这是由于升高反应温度有助于提高煤的转化率,进而生成更多的油、气产品,然而反应温度过高,会导致一次挥发分产物的二次裂解,使焦油裂解为小分子的气态产物,焦油产率降低,干馏气产率增加。印尼褐煤油收率为 $9.91\%$ ,高达格金含油率的 $95.75\%$ ,可见快速热解装置油收率较高。干馏气产率在 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为 $16.99\%$ ,干馏气产率较高。

### 2.2 固定床产煤焦油与快速热解煤焦油性质对比

试验对印尼褐煤快速热解产生的煤焦油和热解气进行分析,为考察快速热解与固定床慢速热解产品性质的不同,在实验室自建的固定床热解装置上对印尼褐煤进行了热解试验,收集并分析了固定床热解产生的焦油和热解气。

#### 2.2.1 煤焦油基本性质分析

快速热解煤焦油与固定床热解产煤焦油性质分析见表2。由表2可知,快速热解油的凝点、黏度、密度和残炭含量均低于固定床热解得到的煤焦油,可见,快速热解煤焦油性质均优于固定床热解煤焦油。

重油馏分分别为 $2\%$ 、 $44\%$ 和 $54\%$ 。对固定床热解煤焦油进行模拟蒸馏分析,得出固定床煤焦油的汽油、柴油和重油馏分分别为 $1\%$ 、 $40\%$ 和 $59\%$ 。

表4 快速热解煤焦油模拟蒸馏结果

Table 4 Simulated distillation results of flash pyrolysis coal tar

质量分数/%	温度/ $^{\circ}\text{C}$	质量分数/%	温度/ $^{\circ}\text{C}$
初馏点	141	50	380
2	178	60	400
10	237	70	425
20	277	80	460
30	314	90	520
40	343	终馏点	609
46	360		

与固定床热解煤焦油相比,快速热解煤焦油汽油、柴油馏分较高,重油馏分较低,轻油较多,油品性

质较好。煤通过快速加热可以在热解过程中供给煤大分子高强度的能量,所以热解过程中形成的小分子碎块较多,产生较多的低分子产物<sup>[14]</sup>。

## 2.2.4 热解气组成分析

对快速热解气与固定床热解气进行分析,结果见表5。

表5 干馏气组成分析  
Table 5 Composition analysis of retorting gas

样品	体积分数/%								
	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>
快速热解气	37.86	19.2	16.56	11.06	4.39	5.31	0.55	2.13	2.94
固定床热解气	35.56	15.89	16.23	15.18	4.67	6.63	1.23	1.98	2.63

由表5可知,印尼褐煤快速热解气和固定床热解气中的主要组分是CH<sub>4</sub>和H<sub>2</sub>,其次为CO和CO<sub>2</sub>,2种气体的组成相差不大。经计算,快速热解气高位热值为30.40 MJ/m<sup>3</sup>,密度为1.06 g/L。

## 3 结 论

1) 随反应温度升高,半焦产率逐渐下降,干馏气产率增加,煤焦油产率呈现先升高后降低的趋势,在590℃达到最大值9.91%,印尼褐煤油收率高达格金含油率的95.75%,可见快速热解装置油收率较高。

2) 与固定床热解煤焦油相比,快速热解煤焦油的密度、黏度、凝点和残炭含量均较低。快速热解油的饱和分和芳香分含量均高于固定床热解油,而胶质和沥青质含量则低于固定床热解油,快速热解油中轻油较多。

3) 快速热解煤焦油中汽油馏分为2%,柴油馏分为44%,重油馏分为54%,与固定床热解煤焦油相比,快速热解煤焦油中汽柴油馏分较高,重油馏分较低,轻油较多,油品性质较好。

4) 印尼褐煤快速热解气中的主要组分是CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、CO,快速热解气高位热值为30.40 MJ/m<sup>3</sup>。

## 参考文献(References):

[1] 罗斐. 煤炭资源的现状及结构分析[J]. 中国煤炭, 2008, 34(3): 91-94, 96.  
[2] 何洋洋, 马也. 论国际煤炭贸易发展历程及趋势[J]. 现代商贸工业, 2013(12): 49-51.  
[3] 许莉. 世界煤炭资源供需形势分析[J]. 中国煤炭地质, 2012, 24(6): 70-72.  
Xu Li. World coal resource supply and demand analysis[J]. Coal Geology of China, 2012, 24(6): 70-72.  
[4] 谢锋斌. 全球煤炭供需格局简析[J]. 中国矿业, 2013, 22(10):

19-21.

Xie Fengbin. Analysis of global coal supply and demand pattern [J]. China Mining Magazine, 2013, 22(10): 19-21.

[5] 管志召, 卢海燕. 中国东西部煤炭资源开发前景浅析[J]. 煤矿现代化, 2000(1): 13-16.

Guan Zhizhao, Lu Haiyan. The analysis for the development progress of China Eastern and Western coal resources [J]. Coal Mine Modernization, 2000(1): 13-16.

[6] 刘志逊, 陈河替, 黄文辉. 我国煤炭资源现状及勘查战略[J]. 煤炭技术, 2005, 24(10): 1-2.

Liu Zhixun, Chen Heti, Huang Wenhui. The current situation of coal resources and prospecting strategy in China [J]. Coal Technology, 2005, 24(10): 1-2.

[7] 王永炜. 中国煤炭资源分布现状和远景预测[J]. 煤, 2007, 16(5): 44-45.

[8] 耿层层, 李术元, 马跃, 等. 煤固体热载体流化干馏实验研究[J]. 煤炭加工与综合利用, 2014(8): 73-77.

[9] 陈磊, 张永发, 刘俊, 等. 低阶煤低温干馏高效采油技术研究进展[J]. 化工进展, 2013, 32(10): 2343-2351.

Chen Lei, Zhang Yongfa, Liu Jun, et al. Research progress in low-temperature carbonization technology for low-rank coal with efficient tar recovery [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2013, 32(10): 2343-2351.

[10] Atwood M T, Schulman B L. Toscoal process emdash pyrolysis of western coals and lignites for char and oil production [J]. Preprints of Papers American Chemical Society Division of Fuel Chemical, 1997, 22(2): 233-252.

[11] 赵定嘉. 伍德炉生产中炉温和煤行速的关系[J]. 煤气与热力, 1992(1): 21-26.

Zhao Dingjia. Relationship between chamber temperature and coal downward speed in operation of W-D retort [J]. Gas and Heat, 1992(1): 21-26.

[12] Sass A. Garrett's coal pyrolysis process [J]. Chemical Engineering Progress, 1974, 70(1): 72-73.

[13] 姚昭章. 炼焦学[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 1994: 367-368.

[14] 郭树才. 煤化工工艺学[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 2006: 11-12.