

热解气停留时间对典型烟煤热解产物的影响

陈昭睿, 王勤辉, 郭志航, 骆仲决

(浙江大学 能源清洁利用国家重点实验室 浙江 杭州 310027)

摘要: 在所建的两段式固定床反应器上, 以典型烟煤为原料, 开展了一定热解条件(600 °C、1-2 s)下所产生的热解气体(煤气、焦油)在不同裂解温度(500-800 °C)时, 停留时间(0-16 s)对最终热解产物特性影响的实验研究。研究表明: 在低于600 °C较低裂解温度条件下, 热解气停留时间对烟煤热解产物影响不大; 而在高于600 °C裂解温度条件下, 随着热解气停留时间从0 s增加到16 s, 气相二次反应加剧, 大分子焦油在分解反应、缩聚反应共同作用下倾向于形成更为稳定的苯、甲苯、二甲苯和萘、甲基萘、菲、蒽等多环芳烃及H₂, 同时酚类先增多后分解形成CO, 芳香侧链等脱甲基形成CH₄。

关键词: 二次反应; 热解气停留时间; 烟煤; 热解产物

中图分类号: TQ530.2 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.05.027

引言

煤热解是煤转化技术的关键步骤, 煤热解产物及其特性是以煤热解为主的煤转化工艺关键参数。煤热解产物及其特性受反应器类型、煤质、温度、停留时间、气氛等因素的影响^[1]。当热解条件一定时, 煤热解产物在一定温度的停留过程中(如煤热解产物离开反应器后在高温管道中的流动过程等)仍可能发生分解、加氢、缩聚等气相二次反应, 导致最终煤热解产物发生变化。在该过程中, 煤热解产物离开反应器后反应温度(简称裂解温度)和煤热解产物离开反应器后气体输运时间(简称热解气停留时间)将是两个主要的影响因素。因此, 研究热解条件一定时, 煤热解气态产物在不同裂解温度条件下随着热解气停留时间改变的变化规律具有非常重要的意义。

以往的研究往往集中在热解过程中煤粒停留时间、炉内气体停留时间的影响, 而煤在一定热解条件下的热解产物离开反应器后温度及停留时间对最终

产物的影响研究较少, 侧重点有所不同, 产物分析不够系统。文献[2]在移动床、3 °C/min升温速率条件下对气相二次反应机理进行了研究。文献[3]用居里点热解器-色谱联用研究了裂解温度和热解气停留时间对气体、轻质焦油的影响。文献[4]在鼓泡床、750 °C、添加CaO条件下, 研究了热解气停留时间对焦油产率、气体热值的影响。文献[5]在气流床、H₂气氛、700 °C和6 MPa条件下, 研究了热解气停留时间对气体、轻质芳烃的影响。

本研究采用两段固定床反应器, 以典型烟煤为原料, 研究热解条件一定时, 其热解气态产物在不同裂解温度(500-800 °C)及不同热解气停留时间(0-16 s)条件下的变化规律, 为煤热解工艺及设备的设计与运行提供参考。

1 烟煤热解实验

1.1 实验原料

实验采用粒径为74-150 μm的新疆淮南烟煤为研究对象, 其工业和元素分析如表1所示。实验前, 煤样在105 °C条件下烘干12 h。

表1 原煤的工业和元素分析

Tab. 1 The industry and element analysis of coal

工业分析				$Q_{net, ar} / (kJ \cdot kg^{-1})$	元素分析					
M_{ar}	A_{ar}	V_{ar}	FC_{ar}		C_{ar}	H_{ar}	N_{ar}	S_{ar}	O_{ar}	
4.61	13.36	33.12	48.91	26 603	69.76	4.46	1.11	0.32	6.38	

1.2 实验装置和方法

如图1所示, 实验采用两段固定床反应器, 可以分别控制加热温度。煤样在管式炉1中热解产生热

收稿日期: 2014-10-15; 修订日期: 2014-12-16

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2013AA051203)

作者简介: 陈昭睿(1990-), 男, 湖北孝感人, 浙江大学硕士研究生。

解气体,被载气 N_2 带入管式炉 2 中继续反应。管式炉 1 热解条件恒定,通过改变管式炉 2 反应条件,从而研究管式炉 2 中不同裂解温度下热解气停留时间对烟煤最终热解产物的影响。

实验装置主要由前端供气系统、中端 2 个卧式管式炉、尾端产物收集系统组成。管式炉 2 的热解气停留时间通过调节 N_2 载气流量(变化范围 2.904–4.356 L/min,对管式炉 2 温度区间影响不大)、改变管式炉 2 加热段长度(300 和 600 mm 两种规格)等方式改变。管式炉 1 热解温度恒定在 600 °C,气体停留时间为 1–2 s(对热解气几乎没有影响);管式炉 2 裂解温度在 500–800 °C 之间变化,热解气停留时间在 2–16 s 之间变化。

实验前,先将管式炉升至设定温度,将装有 10 g 煤样的石英舟放入反应管低温区,如图 1 所示,并通入 N_2 排尽空气。实验开始,通过特制推杆将石英舟快速推至靠近管式炉 1 出口的指定位置进行反应,持续吹扫 10 min。实验后,将石英舟拉回低温区,收回半焦。同时收集焦油、气体,准备进一步分析。

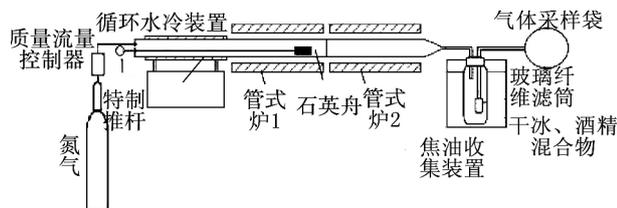


图 1 实验装置

Fig. 1 The experimental equipment

1.3 采样和分析手段

焦油采用冷却、过滤方法收集,反应器出口反接装有玻璃纤维滤筒的洗气瓶,并置于 -50 °C 的干冰和酒精混合物中,防止焦油轻质组份被带走。通过差重法,获得焦油和水的总产率。洗气瓶、滤筒、硅胶管均需经过丙酮清洗、溶解,用卡尔费休水分测定仪测定水分含量,进而计算焦油产率。焦油经过旋转蒸发器提取、保存,并通过 JMS-Q1050GC 气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)分析其成分。

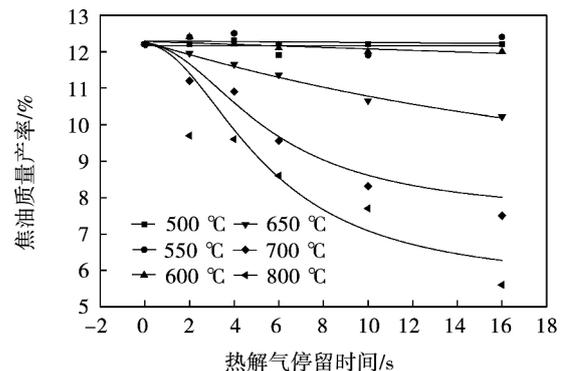
热解气体通过铝箔气体采样袋收集,用 Agilent GC 7890A 气相色谱仪分析其成分。由于热解产生 N_2 体积相对于载气 N_2 体积非常小,认为 GC-MS 检

测 N_2 全部来源于载气 N_2 ,通过载气 N_2 的累计体积和 GC 检测 N_2 体积分数来反算各煤气组份体积。焦油和气体质量产率均以煤样的干燥基为基准计算。

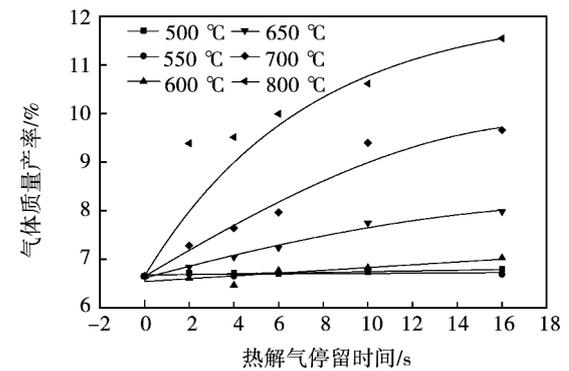
2 结果与分析

2.1 热解气停留时间对产率的影响

图 2 给出了热解温度为 500–800 °C、停留时间为 1–18 s 时,所产生的烟煤气态热解产物(煤气、焦油)再经历不同裂解温度、不同热解气停留时间后的质量产率变化。坐标原点为($t=0$ s)是热解条件一定,不经过 2 段反应器,直接收集热解产物。



(a) 对焦油产率的影响



(b) 对气体质量产率的影响

图 2 热解气停留时间对焦油、气体质量产率的影响

Fig. 2 Influence of residence time of thermal gas on tar and gas mass yield

裂解温度在 600 °C 及 600 °C 以下时,随着热解气停留时间的增加,与无 2 段反应器的工况($t=0$ s)相比,气体、焦油产率基本不变,这说明热解气体在 600 °C 以下几乎不发生气相 2 次反应。而高于 600 °C 条件下,随着热解气停留时间的增加,焦油产

率减少,而气体产率有所上升,这说明热解气体在 600 °C 以上发生了二次裂解,大分子焦油分解成小分子气体。同时,在 800 °C 工况下,反应器管壁上可以观察到大量炭黑形成,这也说明有一部分高分子组份发生了裂解反应。

在 650 °C 时,热解气停留时间从 0 s 提高到 16 s,焦油产率从 12.20% 仅下降到 10.22%;在 800 °C 时,焦油产率短短 2 s 就下降到 9.70%,在 16 s 时则下降到 5.60%。这说明提高裂解温度和延长热解气停留时间都具有很大的影响,裂解温度越高,热解气停留时间越长,越多焦油组份发生裂解,二次反应程度越彻底^[6]。

2.2 热解气停留时间对焦油组份的影响

无 2 段反应器条件(600 °C、0 s)下,焦油主要由环数为 1-4 的具有甲基、乙基、羟基的芳香族化合物组成,还含有少量脂肪烃、杂环物质等。将各工况的焦油样品都用 100 mL 丙酮稀释,进而通过 GC-MS 测量信号强度来定性分析焦油组份的变化。

如图 3 所示,从裂解温度 600 °C、热解气停留时间 0 s 到裂解温度 700 °C、热解气停留时间 16 s,在焦油总量减少(参见图 2)的同时,单环和 2 环芳香族等轻质组份含量有所增加,可以推测出焦油中有大分子量组份减少,小分子量组份增加的趋势;当裂解温度 800 °C、热解气停留时间 16 s 时,焦油中大量的在 600-700 °C 工况下可检测到的复杂组份都几乎消失,焦油组份急剧减少,结构趋于简单。

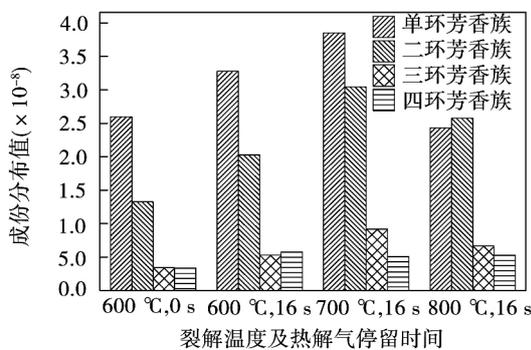


图 3 芳香族按环数分布

Fig. 3 Aromatic compounds classified by ring numbers

如图 4 所示,在较高裂解温度(高于 600 °C)情况下,从 600 °C、0 s 到 800 °C、16 s 时,焦油中有几

类物质变化比较明显:

苯、甲苯、BTX(二甲苯)一直保持增加,其中苯、甲苯增加明显,二甲苯增加较少。BTX 主要来源于大分子焦油分解和氢化芳香结构缩聚^[6]。

酚、甲酚、PCX(二甲酚)在 700 °C 时明显增加,在 800 °C 时大大减少。PCX 的生成一部分来源于中间复杂酚类的分解反应,一部分来源于羰基化合物的热解转化^[7]。PCX 的减少是由于 PCX 热解形成五元环,并伴随 CO 生成^[8]。700 °C 时 PCX 生成反应是主要反应,而 800 °C 时 PCX 热解反应加剧,占主导地位。

萘、甲基萘一直保持增长,并在 800 °C、16 s 时大大增加,同时蒽、菲等也有类似的趋势。这说明气相二次反应中有缩聚反应发生^[9],并且在 800 °C、16 s 条件下反应比较剧烈。

多烷基酚、多环酚等中间复杂酚类先增加后明显减少。在较低温度下,更大分子量的含氧焦油组份裂解产生中间复杂酚类,而在高温下中间复杂酚类发生二次裂解、脱烷基、脱羟基等二次反应,从而含量大大减少,酚类结构趋于简单^[10-11]。在 800 °C、16 s 工况下几乎检测不到这些中间复杂酚类。这些中间复杂酚类,大多具有乙基-酚羟基、甲基-乙基-酚羟基、二甲基-酚羟基、三甲基-酚羟基、二酚羟基等基团,并表现出不同的热稳定性。例如,4-甲基-1,2-二羟基酚、4-甲基-2-乙基苯酚在 700 °C、16 s 时就检测不到,乙基-酚羟基、三甲基-酚羟基结构在 800 °C、16 s 才检测不到,而甲酚、二甲酚等结构一直存在。

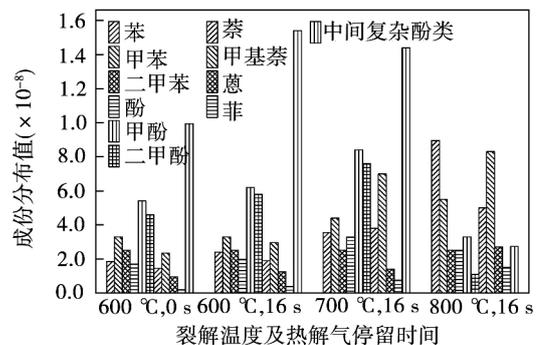


图 4 焦油典型成分分布

Fig. 4 Composition distribution of typical compounds

2.3 热解气停留时间对气体组分的影响

对不同气体组分的影响。

图 5 给出了不同裂解温度下,热解气停留时间

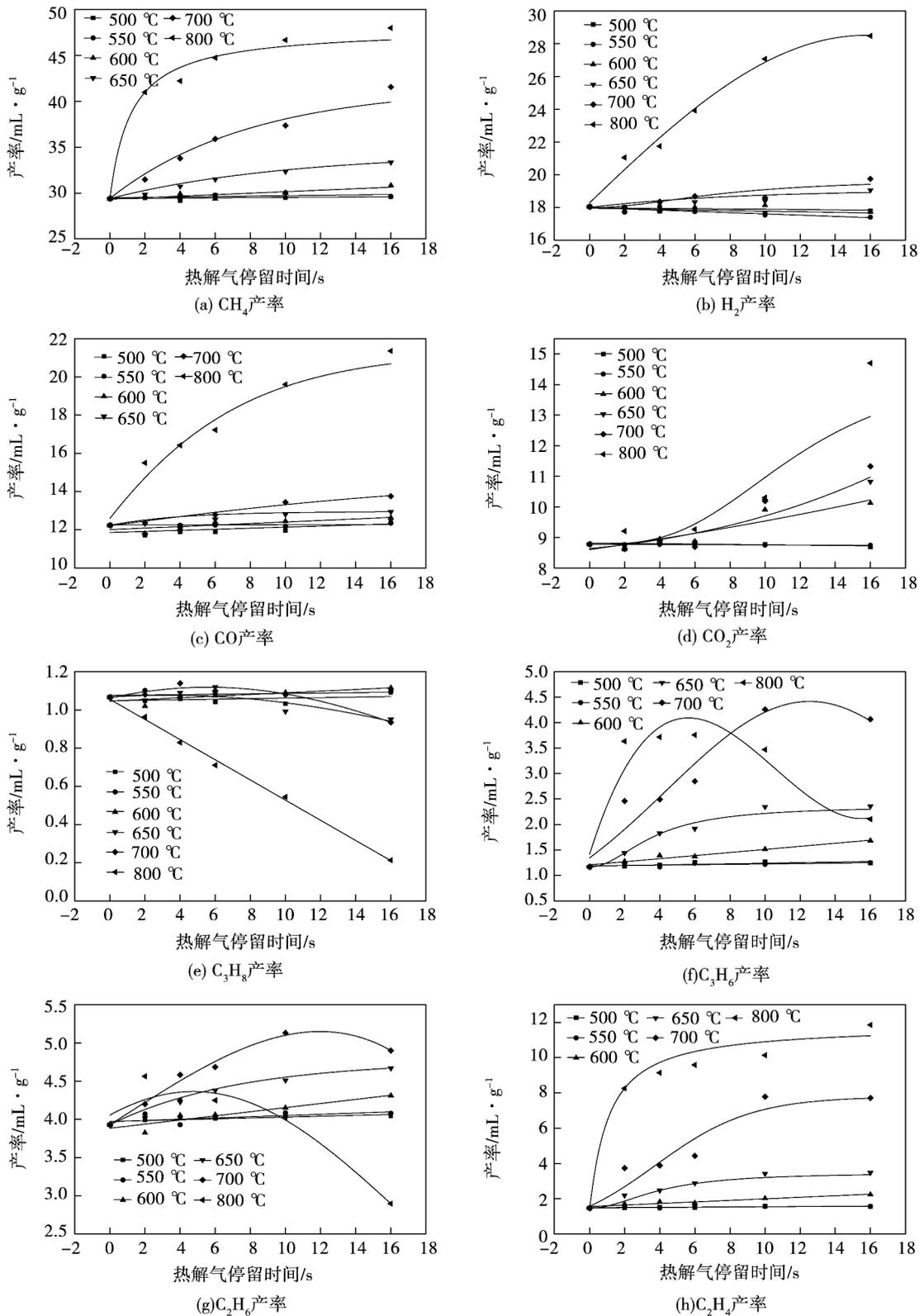


图 5 热解气停留时间对各气体组分的影响

Fig. 5 Influence of residence time of thermal gas on different gases

在 600 °C 以下时 提高热解气停留时间 对气体组份影响不明显 仅 C_2H_4 、 C_3H_6 等烯烃产率有一定提高; 在 650、700 °C 时 随着热解气停留时间增加, CH_4 、 C_2H_4 明显增加, H_2 、 CO 、 CO_2 均有一定增加, C_2H_6 、 C_3H_6 有先增加后减少趋势; 在 800 °C 时 热解气停留时间对气体组份的影响比较大 随着热解气停留时间增加, CH_4 、 C_2H_4 迅速大量增加 并趋于稳定, H_2 、 CO 、 CO_2 均有大幅度增加, C_3H_8 则快速减少, C_2H_6 、 C_3H_6 短暂增加后迅速减少。

在裂解温度 650 – 800 °C 时, CH_4 主要是焦油中较稳定的芳香烃、环烷烃侧链断裂形成^[12], 此反应在高温下比较剧烈。800 °C 焦油中乙基、三甲基结构的大量减少可以证实这一点。 CH_4 的生成与甲基自由基密切相关, 常认为是 2 – 6 个反应的综合作用^[13] 还可能与氢化芳香环的脱甲基反应、脂肪族的芳构化反应有关。

H_2 主要来源于缩聚反应和链烃的芳构化^[14], H_2 产率在 800 °C 时的明显增长和 800 °C 焦油中萘、菲、蒽等 PAH(多环芳烃) 的显著增加(如图 4 所示) 是一致的。这说明气相二次反应中 H_2 主要是缩聚反应伴随产生的^[15], 缩聚反应通常发生在热解后期 需要比较高温。

CO 、 CO_2 生成机理较复杂 主要与含氧官能团相关。在 500 – 700 °C 时 CO 增加不明显 在 800 °C 时酚类大量减少(如图 4 所示), 同时 CO 从 12.23 mL/g 增长到 21.36 mL/g。 CO 释放温度较高 这可能与酚羟基有关, 含羟基的芳香环分解生成五元环, 伴随 CO 生成并供氢^[16]。同时, CO 也有可能来源于含氧杂环、某些短链脂肪酸等^[17]。 CO_2 通常来源于羧基、碳酸盐分解等^[18], 在较低温度下释放。图 5 中 CO_2 在不同裂解温度下随热解气停留时间延长有不同程度增加, 这可能是由于不同羧基结构的热稳定性差别很大^[19], 在 200 – 800 °C 之间有不同程度的释放。

$C_2 - C_3$ 烃类在不同裂解温度下 随着热解气停留时间延长有先增加后减少的趋势 并存在一个最大值。 $C_2 - C_3$ 烃类的变化普遍被认为是一阶反应的结果, 从煤中脂肪烃、芳香烃脂肪侧链分解产生, 在高温下自身发生分解^[20]。分子量越小的烃类越

难裂解 烯烃是焦油主要裂解产物之一^[21]。

上述结果证实 在不同裂解温度下 选择合适的热解气停留时间 可以获得所需的气体组份分布。

3 结 论

(1) 裂解温度越高 热解气停留时间越长 导致二次反应程度加剧 大分子焦油分解成小分子气体, 从而使焦油产率减少, 气体产率增加。裂解温度 600 °C 以下, 气相二次反应不明显; 裂解温度高于 600 °C 时, 气相二次反应加剧 热解气停留时间对烟煤热解产物的影响比较大。

(2) 在较高裂解温度(高于 600 °C) 下 随着热解气停留时间延长 焦油组份趋于向低沸点和高温沸点左右范围集中分布 形成热稳定高的简单组份: 一方面分解反应加剧 沸点低的 BTX 增加; 另一方面缩聚反应加剧 高沸点的萘、甲基萘、菲、蒽等结构简单的 PAH 增加; 而分解反应和脱烷基、脱羟基反应导致 PCX 和中间复杂酚类先增加后减少 并表现出不同的热稳定性。

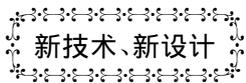
(3) 在较高裂解温度(高于 600 °C) 下 随着热解气停留时间延长, CH_4 产率增加比较明显 由于酚类的脱羟基反应和芳香族的缩聚反应需要比较高温, CO 、 H_2 在 800 °C 时才有大幅度的提高。

参考文献:

- [1] Mathews J P, Chaffee A L. The molecular representations of coal-A review[J]. Fuel 2012: 1 – 14.
- [2] Serio M A, Peters W A, Howard J B. Kinetics of vapor-phase secondary reactions of prompt coal pyrolysis tars[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 1987, 26(9): 1831 – 1838.
- [3] Xu W, Tomita A. The effects of temperature and residence time on the secondary reactions of volatiles from coal pyrolysis[J]. Fuel Processing Technology, 1989, 21(1): 25 – 37.
- [4] 朱廷钰, 肖云汉, 王 洋. 煤热解过程气体停留时间的影响[J]. 燃烧科学与技术 2001, 7(3): 307 – 310.
ZHU Ting-Yu, XIAO Yun-Han, WANG Yang. Effect of gas residence time on coal pyrolysis[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2001, 7(3): 307 – 310.
- [5] 朱子彬, 马智华, 俞 丰, 等. 煤快速热解获得液态烃和气态烃的研究(III)——气体停留时间的考察[J]. 化工学报, 1995, 46(6): 710 – 716.
ZHU Zi-bin, MA Zhi-hua, YU Feng, et al. Flash pyrolysis of brown coal for obtaining liquid and gaseous hydrocarbon (III) effect of

- gas residence time[J]. *Journal of Chemical Industry and Engineering*, 1995, 46(6): 710–716.
- [6] Hayashi J, Nakagawa K, Kusakabe K, et al. Change in molecular structure of flash pyrolysis tar by secondary reaction in a fluidized bed reactor[J]. *Fuel Processing Technology*, 1992, 30(3): 237–248.
- [7] 庄叔贤, 季明荣. 酚在 Pd(110) 上的吸附与分解[J]. *化学物理学报*, 1994, 7(6): 558–565.
ZHUANG Shu-xian, JI Ming-rong. Adsorption and Decomposition of Phenol on Pd(110) Surface[J]. *Chinese Journal of Chemical Physics*, 1994, 7(6): 558–565.
- [8] Liu S, Li W, Xie K. The fate of organic oxygen during coal pyrolysis[J]. *ENERGY SOURCES*, 2003, 25(5): 479–488.
- [9] Dong J, Li F, Xie K. Study on the source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during coal pyrolysis by PY–GC–MS[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2012: 80–85.
- [10] Kong J, Zhao R, Bai Y, et al. Study on the formation of phenols during coal flash pyrolysis using pyrolysis-GC/MS[J]. *Fuel Processing Technology*, 2014: 41–46.
- [11] 曾令鹏, 谢放华, 韩江则, 等. 多层床煤热解提高油气品质的机理研究[J]. *煤炭转化*, 2014, 37(1): 55–65.
ZENG Ling-peng, XIE Fang-hua, HAN Jiang-ze, 等. Mechanism of Improvement on Tar and Gas Quality in Multi-stage Bed Pyrolysis of Coal[J]. *Coal Conversion*, 2014, 37(1): 55–65.
- [12] Butala S J M, Medina J C, Taylor T Q, et al. Mechanisms and Kinetics of Reactions Leading to Natural Gas Formation during Coal Maturation[J]. *Energy & Fuels*, 2000, 14(2): 235–259.
- [13] Porada S A. The reactions of formation of selected gas products during coal pyrolysis[J]. *Fuel*, 2004, 83(9): 1191–1196.
- [14] Strezov V, Lucas J A, Strezov L. Experimental and modelling of the thermal regions of activity during pyrolysis of bituminous coals[J]. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2004, 71(1): 375–392.
- [15] Das T K. Evolution characteristics of gases during pyrolysis of maceral concentrates of Russian coking coals[J]. *Fuel*, 2001, 80(4): 489–500.
- [16] Cyprès R, Furfari S. Hydrolysis of a high-sulphur-high-calcite Italian Sulcis coal. 1. Hydrolysis yields and catalytic effect of the calcite[J]. *Fuel*, 1982, 5(61): 447–452.
- [17] Andresen B, Barth T, Johansen I, et al. Thermal stability of aqueous acetate and variations in product composition under different experimental conditions[J]. *Organic Geochemistry*, 1998, 29(1–3): 83–95.
- [18] 李美芬. 低煤级煤热解模拟过程中主要气态产物的生成动力学及其机理的实验研究[D]. 太原理工大学, 2009.
LI Mei-fen. Experimental study on kinetics and mechanisms of the main gaseous products generation from low rank coal pyrolysis[D]. Taiyuan University of Technology, 2009.
- [19] 刘生玉. 中国典型动力煤及含氧模型化合物热解过程的化学基础研究[D]. 太原理工大学, 2004.
LIU Sheng-yu. Fundamental study on pyrolysis of Chinese steam coals and model compounds containing oxygen[D]. Taiyuan University of Technology, 2004.
- [20] Porada S. The influence of elevated pressure on the kinetics of evolution of selected gaseous products during coal pyrolysis[J]. *Fuel*, 2004, 83(7–8): 1071–1078.
- [21] Doolan K R, Mackie J C, Tyler R J. Coal flash pyrolysis: secondary cracking of tar vapours in the range 870–2000 K[J]. *Fuel*, 1987, 66(4): 572–578.

(陈滨 编辑)



新技术、新设计

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.05.028

Siemens 在波兰销售第一台 H 级燃气轮机

据《Gas Turbine World》2014 年 9–10 月刊报道, Siemens 已经在波兰获得针对它先进的 H 级燃气轮机的一份合同。这是该公司第一次将在德国以外的中欧建造全套总承包的 H 级联合循环电站。

正在为 PKN Orlen(东欧最大的矿物油精炼公司)建造 596 MW 的燃气轮机联合循环电站。位于波兰首都华沙西北约 100 km 的普沃茨克的该电站被设计成把电力供入国家电网, 并且也给炼油厂供给电力和生产用蒸汽。计划于 2017 年末进行该联合循环装置交工试运转。

Siemens 的全套总承包合同将包括安装具有单轴结构的联合循环装置并供应主要部件: 1 台 SGT5–8000H 燃气轮机(375 MW 功率, 40.0% 效率)、1 台余热锅炉、1 台具有 Scon–2000PF 冷凝器的 SST5–5000 汽轮机、SGen5–3000W 发电机、电力系统和 1 个 SPPA–T3000 测量控制系统。Siemens 也将负责约 12 年时间的该联合循环装置的维护和服务。

(吉桂明 摘译)

高温烟气干燥后褐煤的自燃特性 = **Self-combustion Characteristics of Lignite After Dried by High Temperature Flue Gases** [刊, 汉] ZHENG Hong-jun, ZHANG Shou-yu (College of Energy Source and Power Engineering, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, Post Code: 200093), DONG Jian-xun (Zhongdiantou Mengdong Energy Source Group Limited Liability Company, Tongliao, China, Post Code: 028000), LU Jun-fu (Department of Thermal Energy Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(5). - 750 - 755

By using a thermogravimetric analyzer, studied were the self-combustion characteristics of raw coal and various coal samples which had been subjected to a drying process at different temperatures and the self-ignition characteristic temperature points of various coal samples were obtained. On the basis of these temperature points, the conversion processes of the coal samples were divided. Finally, by using the Coats-Redfern integration method, the solutions to the kinetic parameters of various coal samples in different stages were sought and the activated energy in the oxygen-inhaling and weight-adding stages was chosen as an index indicating a self-ignition tendency. It has been found that the whole combustion process can be divided into three stages: water losing and weight losing stage, oxygen-inhaling and weight-adding stage and combustion-caused weight-losing stage. Under the condition of the drying process by high temperature flue gases simulated, to increase the flue gas temperature has no big influence on the oxygen-inhaling and weight-adding, ignition and combustion of coal samples obtained after the drying process. The coal samples after the high temperature drying process has a higher ignition activated energy and the coal samples are not easy to perform its self-ignition. **Key words:** lignite drying, self-combustion characteristics, ignition activated energy, thermogravimetric analysis, reaction kinetics

热解气停留时间对典型烟煤热解产物的影响 = **Influence of the residence time of gases pyrolyzed on the pyrolytic products of typical bituminous coal** [刊, 汉] CHEN Zhao-rui, WANG Qin-hui, GUO Zhi-hang, JIA Xin, FANG Meng-xiang, LUO Zhong-yang (National Key Laboratory on Energy Source Clean Utilization, Zhejiang University, Hangzhou, China, Post Code: 310027) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2015, 30(5). - 756 - 761

On a two section type fixed bed reactor constructed or built, with a typical bituminous coal serving as the raw material, experimentally studied was the influence of the residence time (0 to 16 seconds) of pyrolytic gases thus produced (coal gas and coal tar) under a certain pyrolytic condition (600 °C, 1 to 2 seconds) on the characteristics of

the final pyrolytic products. It has been found that under the condition of a relatively low cracking temperature of 600 °C ,the residence time of pyrolytic gases has no big influence on the pyrolytic products of bituminous coal while under the condition of a cracking temperature of higher than 600 °C ,with an increase of the residence time of the pyrolytic gases from 0 to 16 seconds ,the gas phase secondary reaction will become intensified and the coal tar with large molecules will tend to form more stable benzenes ,toluene ,xylene and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) ,such as naphthalene ,methyl naphthalene ,phenanthrene and anthracene and hydrogen under the joint action of the decomposition and polycondensation reactions and in the meantime ,the phenols will first increase and then decompose to form CO ,the aromatic side chains and others will form CH₄ through demethylation. **Key words:** secondary reaction ,residence time of pyrolytic gases ,bituminous coal

SOFA 气流特性的实验研究 = **Experimental Study of the Gas Flow Characteristics of SOFA** [刊 ,汉] QIN Ming ,KONG Chao ,WU Shao-hua ,CHEN Li-zhe (College of Energy Source Sciences and Engineering ,Harbin Institute of Technology ,Harbin ,China ,Post Code: 150001) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 ,30(5) . -762 -767

With a 660 MW supercritical utility boiler serving as the prototype ,experimentally studied was the cold-state modeling of the characteristics of the gas flow in the SOFA (separated overfired air) zones. During the test ,two arrangement modes ,i. e. four corners and walls respectively ,were adopted for the SOFA and by making use of a particle dynamic analyzer (PDA) ,the gas flow speed field and particle concentration field of the SOFA were measured under various test conditions and the gas flow characteristics of the SOFA were studied under various parameters. It has been found that with an increase of the SOFA flow rate ,its jet flow rigidity will enhance and the penetration capacity of the jet flow will become higher ,favorable for a sufficient mixing of the SOFA with the main gas flow. Compared with the wall type arrangement ,the gas flow of the SOFA of the corner type arrangement is more favorable for a mixing with the main gas flow. For the corner type arrangement of the SOFA ,with an increase of the reverse tangential angle of the spout of the SOFA ,it will be unfavorable for a sufficient mixing with the main gas flow. For the wall type arrangement of the SOFA ,with an increase of the reverse tangential angle of the spout of the SOFA ,the gas flow rigidity will somewhat become higher ,thus favorable for a sufficient mixing. **Key words:** SOFA ,cold state modeling ,corner type arrangement ,wall type arrangement ,gas flow characteristics