

# 煤焦燃烧特性及反应活性探究

董爱霞<sup>1</sup>, 张守玉<sup>1</sup>, 王健<sup>1</sup>, 郭熙<sup>1</sup>, 陈川<sup>1</sup>,  
熊绍武<sup>1</sup>, 吕俊复<sup>2</sup>, 丁艳军<sup>2</sup>, 董建勋<sup>3</sup>

(1. 上海理工大学 能源与动力工程学院 热能工程研究所, 上海 200093;  
2. 清华大学 热能工程系, 北京 100084; 3. 中电投蒙东能源集团有限责任公司, 内蒙古 通辽 028000)

**摘要:** 中国褐煤资源丰富, 然而由于褐煤自身特点使其应用受到了极大的限制。针对中国褐煤应用最广的途径——燃烧, 借助热重分析仪对不同热解终温的褐煤半焦及热解终温为 1273 K 的褐煤半焦与原煤的混合燃料的燃烧特性进行了分析。并利用 Coats - Redfern 法进行了燃烧动力学的分析, 通过求得的表观活化能表征煤焦的燃烧反应活性。研究发现: 热解终温越高, 煤焦的燃烧特性越差; 掺混褐煤有助于提高其半焦的燃烧特性, 而掺混燃料的燃烧稳定性几乎与原煤无差别, 且随着掺混比例的增加, 混合燃料的活化能逐渐增大, 越不易点燃, 掺混半焦对燃料的燃烧特性和反应活性都有影响。相同制备条件下的烟煤半焦和褐煤半焦的燃烧动力学参数尤其是活化能相差很大, 可见煤焦的燃烧反应活性与煤种有关。

**关键词:** 褐煤; 半焦; 燃烧反应活性; 燃烧特性

中图分类号: TK16

文献标识码: A

文章编号: 1006 - 6772(2013)01 - 0087 - 05

## Combustion performance and reaction activity of coal char

DONG Ai-xia<sup>1</sup>, ZHANG Shou-yu<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>1</sup>, GUO Xi<sup>1</sup>, CHEN Chuan<sup>1</sup>,  
XIONG Shao-wu<sup>1</sup>, LV Jun-fu<sup>2</sup>, DING Yan-jun<sup>2</sup>, DONG Jian-xun<sup>3</sup>

(1. Thermal Engineering Research Institute, School of Energy and Power Engineering,  
University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Key Laboratory for Thermal Science and Power Engineering of Ministry of Education,  
Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. CPI Mengdong Energy Group Co., Ltd., Tongliao 028000, China)

**Abstract:** China is abundant in lignite, while its application is greatly limited by its characteristics. With the help of thermal gravimetric analyzer, study the reaction activity of chars. Analyse the combustion characteristics of blended fuel combining char whose pyrolysis final temperature is 1273 K and raw coal with different proportion. Analyse the combustion kinetics with Coats - Redfern method. The combustion reactivity of char can be characterized by the apparent activation energy. The results show that, the char reaction activity decreases with the increase of final temperature of pyrolysis, the added lignite help increase the combustion characteristics of char, while compared with the raw coal, the combustion stability of blended fuel change little. Continue to increase the ratio of lignite, the activation energy of blended fuel gradually increase, it become harder to light. The added lignite influence the combustion characteristics and reactivity of blended fuel. Under the same preparation condition, the combustion kinetic index of bituminous coal char and lignite char vary widely. That indicate that, the combustion reaction activity is related to the coal type.

**Key words:** lignite; char; combustion reaction activity; combustion characteristic

收稿日期: 2012 - 08 - 09 责任编辑: 宫在芹

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2012BAA04B01)

作者简介: 董爱霞(1988—), 女, 山西宁武人, 在读硕士研究生, 研究方向为褐煤干燥脱水提质。通讯作者: 张守玉(1971—), 男, 吉林集安人, 上海理工大学热能工程研究所教授, 硕士生导师, 研究方向为低阶煤提质; 煤炭热解、气化、燃烧; 生物质及固体废弃物能源转化, E-mail: zhangsy - guo@163.com。

引用格式: 董爱霞, 张守玉, 王健, 等. 煤焦燃烧特性及反应活性探究[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(1): 87 - 91, 120.

据统计,目前中国褐煤的资源量将近 3200 亿 t,占中国煤炭资源总量的 5.74%,褐煤探明资源量将近 13 亿 t,占全国探明资源量的 13% 左右<sup>[1-3]</sup>。然而,由于褐煤具有水分含量高(30%~50%)、灰分含量高(15%~30%)、发热量低(12.56~14.65 MJ/kg)等特性,且易风化崩碎和氧化自燃,不适于长途运输(300 km 以内),使其利用受到了极大的限制。

目前,中国褐煤大多用于坑口电厂燃烧<sup>[4]</sup>。由于褐煤在直接燃烧过程中随烟道气粉尘带出量大,会造成严重的环境污染,使其热利用率降低。因此需要在利用前对褐煤进行提质处理。目前对褐煤进行提质的技术主要有洗选、干燥提质及热解提质<sup>[5-6]</sup>。一般利用褐煤时,需先对其进行干燥提质和热解提质,然后再将提质后的焦炭用于燃烧。因此,研究提质后褐煤的燃烧特性和反应活性具有重要意义。

在热解过程中,热解条件不同,如热解终温、升温速率、在热解终温下的停留时间,会明显影响产

物煤焦的结构,进而影响煤焦的反应活性,国内外研究者对此研究做得也较多<sup>[7-17]</sup>。本文着重研究不同的热解终温及将半焦与原煤混烧对燃料的燃烧特性及反应活性的影响。表征煤焦反应活性的方法有很多<sup>[18-21]</sup>,其中有关煤焦化反应活性的居多。对于煤焦的燃烧反应活性的表征,利用 Coats - Redfern 法<sup>[22-23]</sup>进行燃烧动力学的分析,通过求得的表观活化能来表征煤焦的反应活性<sup>[24-25]</sup>。另外借助热重分析技术,利用 TG - DTG 曲线外推法<sup>[26]</sup>以及相关公式<sup>[27]</sup>对煤焦的燃烧特性进行相关分析。

## 1 实验部分

### 1.1 样品选择及原料制备

选用内蒙古锡林郭勒褐煤和平朔烟煤为实验样本,表 1 为样品的工业分析和元素分析。磨碎并筛选粒径在 0.3~2 mm 的颗粒作为实验试样。每次实验前将试样放置在温度为 378 K 的干燥箱中干燥 5~6 h,并放入干燥皿备用。

表 1 样品的工业分析和元素分析

煤种	工业分析/%					元素分析/%				$Q_{\text{net}, \text{ad}} / (\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
	$M_{\text{ad}}$	$A_{\text{ad}}$	$V_{\text{ad}}$	$\text{FC}_{\text{ad}}$	$\omega(\text{C}_{\text{ad}})$	$\omega(\text{H}_{\text{ad}})$	$\omega(\text{O}_{\text{ad}})$	$\omega(\text{N}_{\text{ad}})$	$\omega(\text{S}_{\text{ad}})$	
锡林郭勒褐煤	19.44	15.48	31.13	33.95	47.71	1.94	14.26	0.85	0.33	10.93
平朔烟煤	2.16	31.26	29.21	37.37	52.05	3.07	8.31	0.79	2.36	19.83

### 1.2 制焦实验

实验使用上海意丰电厂生产的 SK2 - 1300 型管式电阻炉制备焦炭。选取适量的煤样,置于石英管内,并放置在管式炉恒温段,在高纯氮气(100 mL/min)气氛下以 10 K/min 的升温速率升温至不同的终温,并停留 30 min。制得的焦炭样品在高纯氮气气氛下冷却至室温,将焦炭样品磨碎至粒径小于 0.154 mm,并保存在 105 °C 的干燥箱中备用。表 2 为半焦样品的制取过程。

表 2 半焦样品的制取

焦样	制焦原样	热解温度/K	热解升温速率/ (K · min <sup>-1</sup> )	热解 气氛
A1	锡林郭勒褐煤	1273	10	N <sub>2</sub>
A2	锡林郭勒褐煤	1173	10	N <sub>2</sub>
A3	锡林郭勒褐煤	1073	10	N <sub>2</sub>
A4	平朔烟煤	1273	10	N <sub>2</sub>

### 1.3 氧化实验

实验使用北京恒久科学仪器厂的 HCT 系列差热分析仪对焦炭样品进行氧化实验。将 10 mg 左右的焦炭均匀地放入 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 坩埚中,并置于热重分析

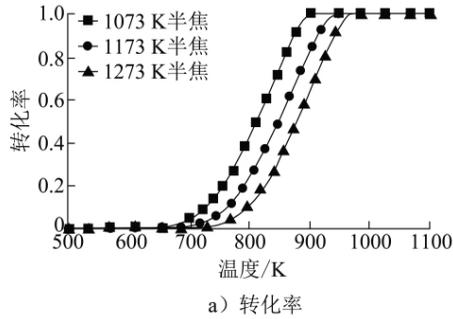
仪的加热炉内,反应气氛为 O<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 的混合气体,其中氧气体积分数为 10%,气体总流量为 70 mL/min。以 10 K/min 的升温速率升温至 1273 K,停止加热,然后在保护气体气氛下冷却至室温。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 不同终温褐煤半焦燃烧实验结果和分析

图 1 为不同热解终温下褐煤煤焦的转化率和 DTG 曲线。由图 1a) 可以看出 3 种不同温度的半焦转化率曲线趋势相同,随着热解终温的升高,半焦的开始转化温度和结束转化温度都升高。1073 K 半焦开始转化和结束转化的温度均最低,1273 K 半焦开始转化和结束转化的温度均最高。由图 1b) 可以看出,1273 K 半焦的最大燃烧速率最大且对应的温度最高。1173 K 半焦的最大燃烧速率最低,其对应的温度比 1073 K 高,1173 K 半焦的失重峰峰宽相对最宽。可见最大失重速率及失重峰宽不仅只与煤焦的热解终温有关。焦炭样品燃烧过程中只有一个明显的失重区域,即焦炭中固定碳的燃烧阶

段。这主要是由于实验中制焦温度相对较高,停留



时间较长,样品中的挥发分析出比较充分。

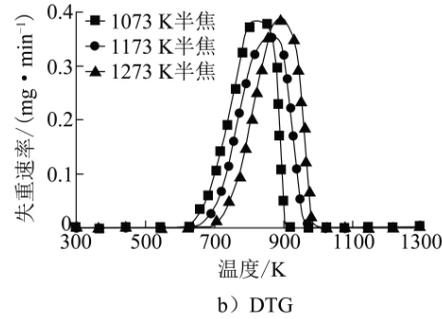


图1 不同终温的半焦转化率和 DTG 曲线

根据整个燃烧过程,在焦炭样品燃烧特性曲线上定义了以下几个特征参数。其中  $T_i$  为着火温度,采用 TG-DTG 法<sup>[28]</sup>确定,即 DTG 曲线上过峰值点作垂线与 TG 曲线相交于一点,过该点作 TG 曲线的切线与 TG 开始曲线的平行线交于一点所对应的温

度;  $T_h$  为燃尽温度,是样品失重占总失重 99% 时对应的温度<sup>[25]</sup>;  $W_{mean}$  为平均燃烧速率,  $W_{max}$  和  $T_{max}$  为最大燃烧速率及其对应的温度,  $R_w$  为着火稳燃特性指数,  $S$  为燃烧特性指数<sup>[26]</sup>。表 3 为 3 种原料焦炭样品的燃烧特征参数。

表 3 半焦的燃烧特性参数

样品	$T_i$ /K	$T_h$ /K	$W_{mean}/(\text{mg} \cdot \text{min}^{-1})$	$W_{max}/(\text{mg} \cdot \text{min}^{-1})$	$T_{max}/\text{K}$	$R_w$	$S \times 10^{-10}/(\text{mg}^2 \cdot \text{min}^{-2} \cdot \text{C}^{-3})$
1273 K 褐煤半焦	803	970	0.249	0.390	890	2.22	4.96
1173 K 褐煤半焦	758	935	0.253	0.357	872	2.34	5.80
1073 K 褐煤半焦	723	899	0.242	0.382	821	2.53	7.27

从转化率曲线、DTG 曲线以及所求出的燃烧特性参数可知,半焦的着火温度随制焦温度的升高而升高。这是因为煤在热解反应时,首先参加反应的是反应活性较高的物质,随热解反应的进行,活性较高的物质逐渐减少,且温度越高活性物质残留就越少,半焦中碳结构排列逐渐趋于有序化,因此残留在 1273 K 半焦中的物质其反应活性都比较低,再加上温度的升高使半焦中矿物质催化能力下降,所以所得半焦不易被点燃,燃点较高。1073 K 的半焦燃点最低且最大燃烧速率较大,可见 1073 K 的焦易燃烧,反应性比较好。比较 3 种不同热解终温获得的半焦,发现随着制焦温度的上升,半焦的  $R_w$  和  $S$

值均下降,即半焦的燃烧稳定性及燃烧性能随着制焦温度的上升而下降。这是由于热解温度升高促进了半焦中碳结构排列的有序化,使半焦表面活性位数量减少;半焦中矿物质烧结或熔融,对反应的催化能力降低或丧失,最终导致半焦反应活性降低。

## 2.2 不同比例半焦与原煤掺混燃烧结果与分析

图 2 是终温为 1273 K 的褐煤半焦分别以 0, 10%, 20%, 40%, 100% 的比例与褐煤掺混后混合燃料的转化率和 DTG 曲线,另外图中加入了热解终温为 1273 K 的平朔煤焦的转化率曲线作对比,表 4 为各试样的燃烧特性参数值。

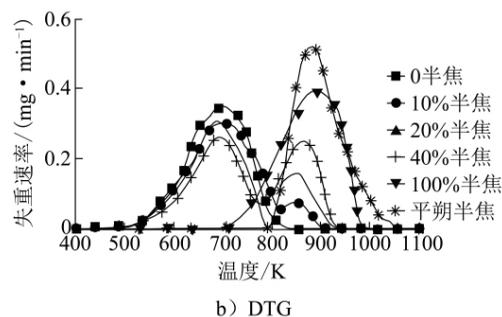
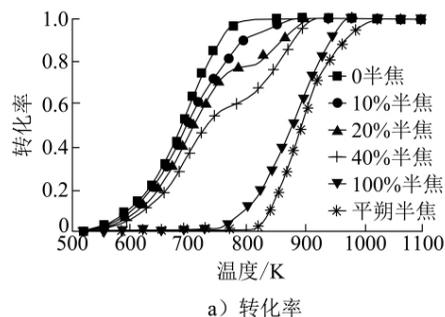


图 2 不同比例的 1273 K 半焦与褐煤掺混后的混合燃料转化率和 DTG 曲线

由图 2a) 可知,随着褐煤半焦掺混比例的增加,褐煤半焦与褐煤原煤掺混燃料的开始转化温度和

结束转化的温度逐渐升高。当掺混比例为 100% 时,褐煤半焦单独燃烧时的开始转化温度和结束转

化温度均低于相同制备条件下平朔烟煤的开始转化温度和结束转化温度。

由图 2b) 可知,混合燃料有 2 个失重峰,第一个失重峰的最大失重速率对应的温度均在 700 K 左右,第二个失重峰的最大失重速率对应的温度均在 850 ~ 900 K,而半焦比例为 0,100%,即褐煤和褐煤半焦及平朔煤焦只有一个失重峰。随着掺混比例

的增加,第一个失重峰的峰值逐渐减少,而第二个失重峰的峰值逐渐增大。可见掺混燃料中,褐煤和褐煤半焦是分开燃烧的,但是二者之间存在一定的协同效应。与褐煤半焦的失重峰相比,平朔煤焦的失重峰相对高且窄,平朔煤焦的最大失重速率大于褐煤半焦的最大失重速率。可见煤焦的燃烧特性与煤种有关。

表 4 平朔煤焦、不同掺混比例褐煤与半焦混合燃料的燃烧特性参数

样品	$T_i/K$	$T_h/K$	$W_{mean}/(mg \cdot min^{-1})$	$W_{max}/(mg \cdot min^{-1})$	$T_{max}/K$	$R_w$	$S \times 10^{-10}/(mg^2 \cdot min^{-2} \cdot ^\circ C^{-3})$
原煤	599	808	0.192	0.357	685	3.39	12.03
10% 半焦	610	888	0.216	0.302	693	3.29	9.33
20% 半焦	614	908	0.184	0.305	685	3.30	7.59
40% 半焦	606	922	0.149	0.264	686	3.33	5.47
100% 半焦	803	970	0.249	0.390	890	2.22	4.96
平朔煤焦	843	1049	0.300	0.523	884	2.23	6.32

从所求出的燃烧特性参数与转化率与 DTG 曲线可看出:半焦为 0 时,即为原褐煤时的燃点最低,且随着半焦掺混的比例增加,燃点越高,越不易点燃,说明半焦特定的物理性质和化学性质影响着混合物的燃烧特性。在 1273 K 时,半焦中碳结构排列有序化、高活性物质残留少且矿物质催化能力降低会导致其反应活性下降。半焦与原煤混合后,随半焦的比例增加,其混合物表面活性位数量减少,碳结构排列有序增加,导致其反应活性下降,所以燃点升高,不易点燃。由表 4 可知,原煤的  $R_w$  和  $S$  值最高,即原煤的燃烧稳定性和燃烧特性最好,结合图 3 可以发现随着半焦在混合燃料中的比例增加,燃烧特性指数下降迅速。掺混比例为 100% 燃烧特性指数最小,比不掺混半焦时的燃烧特性指数小 80%。而不同掺混比例下混合燃料的燃烧稳定性相差不大,表明虽然掺混燃料的燃烧性能有很大影响,但由于褐煤原煤的存在,其燃烧稳定性依然较好。

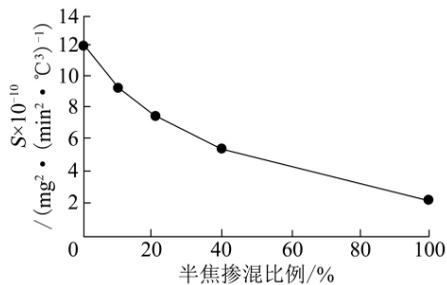


图 3 不同掺混比例的 S 与半焦比例的关系

### 2.3 燃烧动力学分析

非等温过程中,温度以一定的速率  $\beta = dT/dt$  变

化,结合 Arrhenius 方程  $k(T) = A \exp(-E/RT)$  和  $d\alpha/dt = k(1-\alpha)^n$  可得

$$d\alpha/dT = \frac{A}{\beta} (1-\alpha)^n \exp(-E/RT) \quad (1)$$

式中,反应转化率  $\alpha = \frac{w_0 - w_t}{w_0 - w_\infty}$ ,  $w_0$  为样品初始质量, mg;  $w_t$  为反应某时刻样品质量, mg;  $w_\infty$  为反应结束后最终固体质量, mg;  $k$  为反应速率常数;  $\beta$  为升温速率  $\beta = \frac{dT}{dt}$ , K/min;  $T$  为热力学温度, K;  $A$  为指前因子;  $E$  为表观活化能, kJ/mol;  $R$  为气体常数, 8.314 J/(mol · K);  $n$  为反应级数。

设反应级数为 1,对(1)式进行积分,设定方程初始条件为  $\alpha = 0, T = T_0$ ,可得:

$$\int_0^\alpha (1-\alpha)^{-n} d\alpha = \frac{A}{\beta} \int_{T_0}^T \exp(-\frac{E}{RT}) dT \quad (2)$$

假设达到着火温度时,样品才发生明显失重,之前没有燃烧反应发生。对上式用 Coats - Redfern 法进行处理,进行分离变量积分并取近似值可得:

$$\ln \left[ \frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2} \right] = \ln \left[ \frac{AR}{\beta E} \right] - \frac{E}{RT} \quad (3)$$

用  $\ln \left[ \frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2} \right] \sim \frac{1}{T}$  可作一直线,其斜率

为  $-\frac{E}{R}$ ,截距为  $\ln \left[ \frac{AR}{\beta E} \right]$ ,由此可求得活化能  $E$  和指前因子  $A$ ,计算结果见表 5。由表 5 可知,随着煤焦比例的增加,混合燃料的活化能逐渐增大,且随着活化能的增加,指前因子也逐渐增加,但是都远远低于平朔煤焦,由此可见活化能和指前因子之间存在动力学补偿效应,燃烧动力学参数与煤种有一定

的关系。一般高煤阶的煤种对应的活化能和指前因子都高于低阶煤,这也是低阶煤易于反应的一个原因。与原煤相比,掺混半焦的混合燃料的指前因子都比原煤大,且活化能都大于原煤的活化能,可见掺混半焦对混合燃料的燃烧产生了一定的影响。由前文可知,表观活化能的大小可以表征煤焦的反应活性,由此可得随着半焦掺混比例的增加,混合燃料的反应活性逐渐变差。

表5 煤焦与原煤混烧的燃烧动力学参数

样 品	温度范围 $T/K$	活化能 $E/$ ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	指前因子 $A/$ $\text{min}^{-1}$	相关系数 $R$
平朔煤焦	843 ~ 950	199.920	1.1888E11	0.9965
原煤	599 ~ 625	55.447	1364.49	0.9975
10% 半焦	610.0 ~ 680.3	57.276	1890.41	0.9998
20% 半焦	614.0 ~ 714.2	62.593	4455.58	0.9997
40% 半焦	606.0 ~ 645.2	64.368	5062.41	0.9998
100% 半焦	803.0 ~ 869.6	118.210	1454709.61	0.9991

### 3 结 语

半焦的燃烧特性受制焦温度影响,随着热解终温的升高,半焦的燃烧特性变差。将热解终温为1273 K的半焦以不同比例与原煤掺混燃烧时,随着半焦掺混比例的增加,燃烧特性指数大为减少,而燃料的稳定性指数  $R_w$  几乎无变化。随着煤焦比例的增加,混合燃料的活化能逐渐增大,且随着活化能的增加,指前因子也逐渐增加,但是都远远低于平朔煤焦,由此可见活化能和指前因子之间存在动力学补偿效应,燃烧动力学参数与煤种有一定的关系。表观活化能的大小可以表征煤焦的反应活性,由此可得随着半焦掺混比例的增加,混合燃料的反应活性逐渐变差。

#### 参考文献:

- [1] 刘光启,邓蜀平,蒋云峰,等. ATP 技术用于褐煤热解提质的技术经济分析[J]. 转化利用, 2007, 13(6): 25-28.
- [2] 赵振新,朱书全,马名杰,等. 我国褐煤的综合优化利用[J]. 洁净煤技术, 2008, 14(1): 28-31.
- [3] 邵俊杰. 褐煤提质技术及我国褐煤提质技术发展趋势初探[J]. 神华科技, 2009, 7(2): 17-22.
- [4] 宫月华. 内蒙古自治区煤炭资源及其利用[J]. 煤炭加工与综合利用, 2005(6): 17-18.
- [5] 屈进州,陶秀祥,刘金艳,等. 褐煤提质技术研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(11): 121-125.
- [6] 夏浩,刘全润,马名杰. 褐煤提质技术现状[J]. 洁净煤技术, 2010, 16(4): 56-58.
- [7] 徐秀峰,崔洪,顾永达,等. 煤焦制备条件对其气化反应性的影响[J]. 燃料化学学报, 1996, 24(5): 404-410.
- [8] 张守玉,吕俊复,黎永,等. 煤中矿物质对煤焦氧化的催化性能在热处理过程中的变化[J]. 燃料科学与技术, 2005, 11(2): 137-141.
- [9] 吴诗勇. 不同煤焦的理化性质及高温气化反应特性研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2007.
- [10] 徐朝芳,向军,孙路石,等. 热解温度对淮南煤热解与  $\text{CO}_2$  气化特性的影响[J]. 华中科技大学学报, 2010, 38(11): 100-107.
- [11] 黄瀛华,范丽萍,曹建勤,等. 煤及煤焦微观结构特征与气化反应性[J]. 燃料化学学报, 1992, 20(8): 293-299.
- [12] Xuchang Xu, Qun Chen, Hongli Fan. The influence of high-temperature crystallite growth and petrography of pulverized char on combustion characteristics[J]. Fuel, 2003, 82(7): 853-858.
- [13] Alexander Tremel, Thomas Haselseiner, Christian Kunze et al. Experimental investigation of high temperature and high pressure coal gasification[J]. Applied Energy, 2012, 92: 279-285.
- [14] M J G. Alonso, A G Borrego, D Alvarez et al. A reactivity study of chars obtained at different temperatures in relation to their petrographic characteristics[J]. Fuel Processing Technology, 2001, 69(3): 257-272.
- [15] M - L Chan, J M Jones, M Pourkashanian et al. The oxidative reactivity of coal chars in relation to their structure[J]. Fuel, 1999, 78(13): 1539-1552.
- [16] N V Russell, T J Beeley, C - K Man et al. Development of TG measurements of intrinsic char combustion reactivity for industrial and research purposes[J]. Fuel Processing Technology, 1998, 57(2): 113-130.
- [17] 孙悦,廖坚, Leungo Kelebopil, 等. 等温热重分析法对煤焦反应动力学特性研究[J]. 煤炭转化, 2010, 33(2): 57-63.
- [18] Alonso M J G, Borrego A G, Alvarez D, et al. Physico-chemical transformations of coal particles during pyrolysis and combustion[J]. Fuel, 2001, 80(13): 1857-1870.
- [19] 李淑芳,孙瑞峰. 煤焦与  $\text{H}_2$  加压气化活性[J]. 天津大学学报, 1993(5): 65-70.
- [20] 徐春霞,徐振刚,步学朋,等. 煤焦与  $\text{CO}_2$  及水蒸气气化特性研究进展[J]. 洁净煤技术, 2007, 13(6): 49-52.

(下转第120页)

水的清洁度;

4) 碳洗塔去往高压闪蒸的排水量及进入碳洗塔的除氧水量较少,不能保证碳洗塔内的水干净;

5) 脱氧水槽内的脱氧水含灰严重;

6) 系统的频繁开停车导致管道内壁上的垢片脱落,最终汇集在一起形成大块而堵塞管道。

## 5 解决措施

1) 加强对灰水质量的管理,严格按照要求添加分散剂,及时补充新鲜水<sup>[11]</sup>,确保灰水的外排水量不小于指标值, $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 的质量浓度总和不大干于320 mg/L(25℃时);

2) 优化操作,确保系统稳定运行,防止气化炉粗煤气出现带水;

3) 严格按照工艺指标控制好气化炉液位,防止气化炉粗煤气出现带灰现象;

4) 确保每一次系统运行时碳洗塔均从底部管线将黑水送往闪蒸系统,加大碳洗塔的进水量及排水量,确保激冷水的清洁度;

5) 确保高压闪蒸器及真空闪蒸器远传液位计指示正常,严格控制高压闪蒸器及真空闪蒸器液位,防止液位过高而导致黑水进入脱氧水槽;

6) 确保气化炉的稳定运行,降低频繁开停车的次数;

7) 根据管道内的垢片及渣块,配置相应的酸液,定期对激冷水管线及激冷环进行酸洗;

8) 酸洗完成后,利用高压水枪再次对激冷环、黑水过滤器滤网等关键部件进行机械清洗<sup>[12]</sup>;

9) 确保煤灰分在正常指标范围内,尽可能降低激冷室水浴的含灰量,控制粗煤气的含灰量;

10) 预热水泵吸入口渣池内水含渣量大,易堵塞黑水过滤器、激冷环,可将预热水泵吸入口改自

灰水槽,防止堵塞现象的发生<sup>[13]</sup>;

11) 对于返回系统回收利用的水,应定期对其水质进行检测,确保不污染整个激冷水系统的水质<sup>[14]</sup>。

参考文献:

- [1] 于光元,李亚东.煤气化工艺技术分析[J].洁净煤技术,2005,11(4):39-43.
- [2] 谭成敏,丁振伟.GSP煤气化渣水系统的选择[J].氮肥与甲醇,2007,2(4):26-28.
- [3] 王永康,李正平,任文平,等.Texaco煤气化工艺的影响因素[J].洁净煤技术,2010,16(1):47-50.
- [4] 王建军,王林,张亮.几种德士古气化渣水系统的技术评价[J].化肥设计,2007,45(3):30-33.
- [5] 李耀东.德士古水系统结垢原因分析及解决办法[J].中氮肥,2006(5):30-32.
- [6] 祁晓辉.气化炉黑水排放管线结垢分析与处理[J].煤化工,2010(6):53-55.
- [7] 潘俊.德士古气化炉支撑板温度高的原因及解决办法[J].中氮肥,2006(6):5-8.
- [8] 许敬刚,孙卓庆,徐学文,等.新型气化炉装置渣水处理系统的问题探讨[J].中氮肥,2009(3):5-7.
- [9] 韩承结.德士古气化工工艺的优劣比较[J].安徽化工,2007,33(1):45-46.
- [10] 丁振伟,王伟.德士古水煤浆气化合成气带水问题的分析与探讨[J].化肥工业,2003,30(3):52-54.
- [11] 胡涛,马喜军,景怡,等.改性粉煤灰处理废水的应用研究[J].洁净煤技术,2006,12(4):70-73.
- [12] 许波.德士古煤气化装置运行问题探讨[J].煤化工,1999(4):34-40.
- [13] 王伟,李杰.水煤浆气化装置预热水系统改造[J].中氮肥,2011(3):16-18.
- [14] 陈其中,汪洋.水煤浆厂清洁生产节约用水的实用改造[J].洁净煤技术,2007,11(1):79-81.
- [21] 桑小义.东风褐煤半焦的燃烧特性研究[D].大连:大连理工大学,2011.
- [22] 刘旭光,李保庆.DAEM模型研究大同煤及其半焦的气化动力学[J].燃料化学学报,2000,28(4):289-293.
- [23] 廖洪强,李保庆,孙成功.煤-焦炉气共热解半焦燃烧动力学特性研究[J].燃料化学学报,1999,27(3):246-250.
- [24] 陈镜泓,李传儒.热分析及其应用[M].北京:科学出版社,1985.
- [25] 周志杰,范晓雷,张薇,等.非等温热重分析研究煤焦气化动力学[J].煤炭学报,2006,31(2):219-222.
- [26] 孙学信.燃煤锅炉燃烧试验技术与方法[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [27] 聂其红,孙绍增,李争起,等.褐煤混煤燃烧特性的热重分析法研究[J].燃烧科学与技术,2001,7(1):72-76.
- [28] 顾利锋,陈晓平,赵长遂,等.城市污泥和煤混燃特性的热重分析法研究[J].热能动力工程,2003,18(6):561-563.

(上接第91页)