

生物质燃气中固体颗粒物的临氧燃烧机理

江俊飞^{1,2}, 郎 林¹, 阴秀丽¹, 吴创之^{1,2}

(1. 中国科学院广州能源研究所, 中国科学院可再生能源重点实验室, 广州 510640; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 在陶瓷过滤器中, 研究模拟生物质空气气化燃气(SPG)通过高温固体颗粒物层时颗粒物临氧燃烧反应及其机理。结果表明: 在颗粒层温度为 400 ℃, 燃气含氧量为 2% 的条件下, 生物质气化固体颗粒物(PBG)发生明显临氧燃烧反应, 可促进过滤压力的迅速降低, 但燃气热值降幅不超过 1%。FTIR 分析表明, 反应机理为环烷烃及脂肪烃—CH₂—官能团的脱出以及含氧官能团的生成, 结合 XRD 分析显示含焦油类物质的 PBG 颗粒物更易发生临氧燃烧反应。

关键词: 生物质; 气化; 颗粒物; 过滤器; 临氧燃烧

中图分类号: S216.2; TK6 **文献标识码:** A

0 引 言

近年来, 随着陶瓷复合膜类高温过滤材料的发展以及对 PM_{2.5} 等环境污染的重视, 燃气高温过滤净化技术受到越来越多的关注^[1]。该技术不仅分离效率高、耐高温、易清理、可再生以及成本低, 而且能降低生物质气化工艺中的能量损失, 被认为是最具前景的气体净化技术之一^[2-7]。研究表明^[8]将陶瓷管用于生物质粗燃气净化, 可实现生物质粗燃气中固相颗粒的高效分离。然而, 由于粗燃气中飞灰和焦油的影响, 过滤器的使用寿命不长, 导致设备难以长时间稳定运行^[9]。

近年来, 针对生物质空气气化燃气高温过滤净化, 中科院广州能源研究所进行了大量工程应用研究并建立了 2000 Nm³/h 处理量生物质气化净化的示范装置^[8, 10-12]。研究表明^[12], 采用临氧燃烧的方法既可解决除尘管堵塞问题, 又能在无催化剂条件下实现除尘除焦一体化。然而, 对于固体颗粒物在过滤器表面与 O₂ 反应, 国外有相关文献进行过报道^[13], 但主要针对惰性气体氛围下的颗粒物燃烧反应, 对燃气氛围下颗粒物的临氧燃烧反应机理国内外尚缺乏深入分析研究。

基于此, 本文在实验室规模下研究生物质气化固体颗粒物(PBG)的临氧燃烧反应机理, 以期为生

物质气化粗燃气的高温过滤净化技术提供一定理论依据。

1 实 验

1.1 实验样品

PBG 颗粒物取自某公司生物质气化供热示范现场的净化系统, 为未转化的炭颗粒物、灰分和冷凝焦油的混合物。工程示范研究采用气化炉为流化床(无流化介质), 原料为木屑, 气化介质为空气, 气化温度为 700~900 ℃, 进入净化系统的粗燃气温度为 400~600 ℃。实验前先对 PBG 颗粒物进行粉碎筛分, 然后选取粒径为 0.15~0.20 mm 的粉末样品烘干, 最后置于管式炉中并在 N₂ 气氛下进行高温预处理, 以便使样品具有较好的均一性。上述高温预处理的实验步骤为: 1) 在瓷方舟中放置 PBG 粉末 20 g; 2) N₂ 流速为 200 mL/min; 3) 以 10 ℃/min 的升温速率升温至预设温度后立刻取出, 并在 N₂ 气氛下冷却至室温待用。

预设温度分别为 400、600、800、1000 ℃, 制备的样品分别记为 A、B、C 和 D。此外, 选取 SiO₂ (比表面积为 200 m²/g) 为原料, SiO₂ 购买于上海阿拉丁生化科技股份有限公司。PBG 颗粒物的工业分析如表 1 所示。实验中使用的氣體为模拟生物质空气

收稿日期: 2016-09-28

基金项目: 国家自然科学基金(51676192; 51661145022); 广东省科技计划(2013A090100008); 广州市科技计划(201707010237)

通信作者: 郎 林(1980—), 男, 博士、副研究员, 主要从事生物质燃气高温净化方面的研究。langlin@ms.giec.ac.cn

气化燃气(SPG)、高纯 O₂ 和高纯 N₂, 购买于广州普源气体有限公司, SPG 气体成分为: 10% H₂、15% CO₂、22% CO、3% CH₄ 和 50% N₂, 通过质量流量计控制流量。

表 1 PBG 颗粒物的工业分析(%)

Table 1 Proximate analysis of materials(%)

PBG 颗粒物	固定碳	挥发分	灰分
PBG-A	61.07	19.35	19.58
PBG-B	66.07	11.21	22.72
PBG-C	67.05	8.10	24.85
PBG-D	68.12	6.58	25.30

1.2 实验装置

图 1 为实验系统示意图。实验在自制的石英管陶瓷过滤器上进行。过滤器的主体为内径 20 mm、长 200 mm, 且中间含有一层厚度为 5 mm 陶瓷过滤介质的石英管反应器。过滤器内部温度通过伸入石英管内的热电偶测定, 热电偶下端位于 PBG 颗粒物中心, 其程序升温过程通过加热炉控制。冷凝系统主要由 3 个洗气瓶组成, 第 1 个洗气瓶加入少量水, 第 2 个和第 3 个洗气瓶加入变色硅胶。实验系统中所有连接管道均为不锈钢材质, 内径为 2 mm。

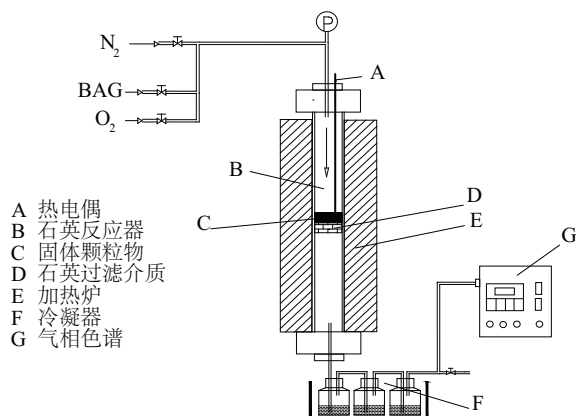


图 1 燃气高温过滤实验系统图

Fig. 1 System diagram of hot gas filtration

$$[O]_{\text{gas}} = \frac{\frac{1}{2}([H_2]_{\text{in}} - [H_2]_{\text{out}}) + \frac{1}{2}([CO]_{\text{in}} - [CO]_{\text{out}}) + 2([CH_4]_{\text{in}} - [CH_4]_{\text{out}})}{[O_2]_{\text{in}}} \times 100\% \quad (7)$$

式中, x_{in} ——过滤器进口处燃气中 x 组分的浓度, mmol/min; x_{out} ——过滤器出口处燃气中 x 组分的浓度, mmol/min。

1.3 实验方法和条件

实验前, 将 PBG 颗粒物均匀负载于陶瓷过滤介质表面, 并通入 100 mL/min 的 N₂ 保护气体。当过滤器内温度升至预设温度并稳定后(升温速率为 3.0 K/min), 立刻切换成 100 mL/min 含 2%(体积比)氧的混合燃气, 并采气相色谱仪对反应后气体进行检测分析, 每隔 20 分钟采集 1 次气样。反应结束后, 立即切换成 N₂ 保护气体(100 mL/min), 待反应器冷却至 100 ℃以下再取出 PBG 颗粒物。过滤器内 PBG 颗粒物的临氧燃烧反应在 400 ℃恒温条件下进行, 其有效恒温反应时间均为 5~24 h, PBG 颗粒物的负载量为 1.0~10.0 g (0.32~3.20 g/cm² 过滤介质) (SiO₂ 的负载厚度与 PBG 颗粒物负载厚度相同)。

本文中定义 q_{in} 为过滤器进口处 SPG 燃气的低位热值, q_{out} 为过滤器出口处 SPG 燃气的低位热值, 单位为 MJ/m³(标准状态)。SPG 燃气的热值百分比(q_r)采用式(1)计算, 其中低位热值采用如式(2)计算:

$$q_r = \frac{q_{\text{out}}}{q_{\text{in}}} \times 100\% \quad (1)$$

$$q = \frac{\eta_{\text{CO}} \times 126.36 + \eta_{\text{H}_2} \times 107.98 + \eta_{\text{CH}_4} \times 358.18}{1000} \quad (2)$$

式中, η_{H_2} 、 η_{CO} 、 η_{CH_4} ——H₂、CO、CH₄ 的百分比体积含量; q ——低位热值, MJ/Nm³。

此外, 文中定义 ΔX 为气体中 x 组分浓度的变化率, 正值为增加率, 负值为减少率; ΔC 为燃气中碳增量, 单位为 mmol/min。定义 $[O]_{\text{gas}}$ 和 $[O]_{\text{solid}}$ 分别为与气体中可燃组分和与 PBG 颗粒物发生反应的 O₂ 的比例, $[O]_{\text{left}}$ 为反应后剩余的 O₂ 占进入反应器中的 O₂ 的比例。

具体计算式如式(3)~式(7)所示:

$$\Delta X = \frac{x_{\text{out}} - x_{\text{in}}}{x_{\text{in}}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\Delta C = [CO + CO_2 + CH_4]_{\text{out}} - [CO + CO_2 + CH_4]_{\text{in}} \quad (4)$$

$$[O]_{\text{left}} = [O_2]_{\text{out}} / [O_2]_{\text{in}} \times 100\% \quad (5)$$

$$[O]_{\text{solid}} = 100\% - [O]_{\text{left}} - [O]_{\text{gas}} \quad (6)$$

1.4 仪器分析与表征

采用日本岛津公司的 GC-2014 气相色谱仪进行气体组分的检测, 采用 TCD 检测器确定气体中各

组分浓度,所使用的分离柱为 Propark Q 和 5A 分子筛。对反应前后的 PBG 颗粒,根据 GB/T 28731—2012 固体生物质燃料工业分析方法进行工业分析。采用德国 BRUKER 公司生产的 FTIR 红外光谱仪(型号为 TENSOR27)对 PBG 颗粒物中官能团进行检测,测试时先对样品进行压片,每次称取样品质量为 1.0 mg, PBG 颗粒物与 KBr 的比例为 1:200。采用荷兰 PANalytical 公司生产的 XRD 射线衍射仪(型号为 X'Pert Pro MPD)对 PBG 颗粒物的晶型结构进行检测分析,选用的角度为 2θ 。

2 结果和讨论

2.1 PBG 颗粒物的临氧燃烧反应及其影响

为探讨 PBG 颗粒物在高温燃气氛围下过滤时发生的反应,选取添加量为 1.0 和 10.0 g 的 PBG 进行长时间实验测试。气体组分、燃气热值随时间的变化规律如图 2、图 3 所示,过滤反应中压差随时间的变化规律如图 4 所示。

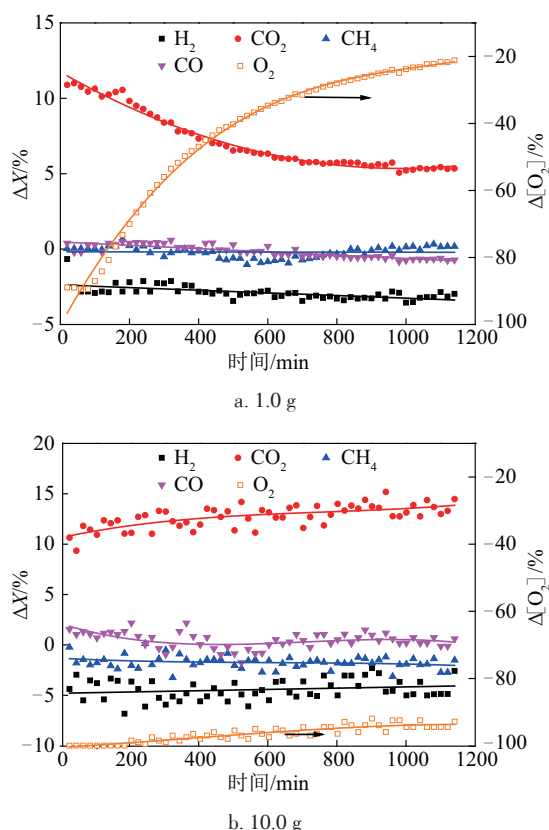


图2 PBG 颗粒物临氧燃烧过程中气体组分随过滤时间的变化

Fig. 2 Residence time dependent change of gas components in partial oxidation of PBG

由图 2 可知,当含氧燃气通过高温 PBG 颗粒层时,气体组分浓度会出现一定程度的变化。主要表现为 H_2 浓度明显减小, CO 和 CH_4 浓度变化不显著, CO_2 浓度出现显著增大, O_2 浓度出现下降。 H_2 浓度减小说明其在过滤过程中与 O_2 发生了一定程度的氧化反应,且 PBG 颗粒物的添加量越大(即过滤层越厚), H_2 反应的量越多,其浓度在 PBG 颗粒物为 1.0、10.0 g 时分别减小了约 2.5%、5.0%。 CO_2 浓度显著增大、 CO 和 CH_4 浓度变化不显著说明, PBG 颗粒物发生了较大程度的反应。根据图 2a 中 O_2 和 CO_2 浓度变化规律可知,在长时间过滤过程中,主要发生的反应为 $C+O_2=CO_2$,随着 PBG 颗粒物质量的减小,其中可发生临氧燃烧反应的物质组分含量逐渐减小,因此燃气中 CO_2 浓度逐渐减小, O_2 浓度逐渐增大,而图 2b 中并未出现该现象,是因为 PBG 颗粒物得添加量较大。根据反应后的样品分析知,添加量为 1.0 g 时,过滤 20 h 后, PBG 颗粒物的质量损失为 56.57%。

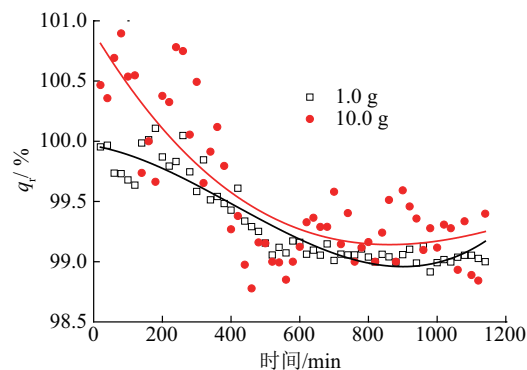


图3 PBG 颗粒物临氧燃烧过程中 q_r 随过滤时间的变化

Fig. 3 Residence time dependent change of q_r in partial oxidation of PBG

尽管在临氧燃烧反应中,SPG 燃气中的 H_2 浓度减小,但对热值的影响并不大。根据图 3 可知,在 PBG 颗粒物发生临氧燃烧时,SPG 燃气热值过滤时逐渐减小,但降幅不超过进入过滤反应器 SPG 燃气热值的 1%。由此可知,SPG 燃气热值并未受到显著影响。SPG 燃气热值逐渐减小则与 PBG 颗粒物中所含物质有关。根据文献^[14,15]显示, PBG 颗粒物中含有一定程度的焦油类物质或带有一定数量的 C—H 官能团。其在氧化过程中会消耗一定比例的 O_2 ,从而导致过滤开始阶段气体中 O_2 浓度大幅减小,其他气体浓度相对增加,因此 $q_r > 100\%$ 。随着

焦油类物质或 C—H 官能团消耗,燃气热值出现降低。当反应进行到一定程度时,PBG 颗粒物的反应以 $C+O_2=CO_2$ 的反应为主时,燃气热值相对稳定。

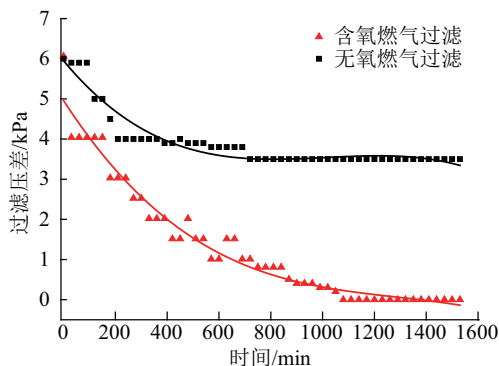


图4 PBG 颗粒物临氧燃烧过程中压差随过滤时间的变化

Fig. 4 Residence time dependent change of pressure drop in partial oxidation of PBG

此外,PBG 颗粒物在过滤过程中的临氧燃烧反应有利于过滤压差的降低。根据图 4 可知,当无氧燃气中通过高温 PBG 颗粒物层时,随着过滤时间的延长,压差逐渐降低,从约 6.0 kPa 降至约 3.5 kPa,主要由 PBG 热解释放焦油所引起;而当含 2%的 O_2 燃气通过高温 PBG 颗粒物层时,尽管出现相似的变化趋势,但其压差从约 6 kPa 降至零,证明了 O_2 的引入能明显促进过滤压力的降低。

2.2 不同颗粒物的临氧燃烧反应

根据图 2 可知,各气体组分除 O_2 外在 200 min 的过滤时间内浓度变化均较小,因此取在该段时间内的各气体组分的平均值来研究不同颗粒物的临氧燃烧的规律,实验中所有的负载物量为 2.0 g (0.64 g/cm^2),结果见表 2。

表2 不同颗粒层对含-氧高温燃气氛围过滤过程的影响结果

Table 2 Partial oxidation of different particles in producer gas environment

添加颗粒物种类		无	SiO ₂		PBG 颗粒物			
			疏水	亲水	PBG-A	PBG-B	PBG-C	PBG-D
气体组分 变化率/ %(干基)	H ₂	-1.21	-1.05	0.27	-2.46	-4.84	-4.46	-3.68
	O ₂	-2.98	-1.36	-0.57	-99.75	-82.29	-72.02	-32.38
	CO ₂	0.10	0.10	0.50	10.07	9.27	7.54	4.82
	CH ₄	0.02	0.35	-0.13	0.02	-0.43	-0.74	-0.95
	CO	-0.13	-0.27	-0.85	0.28	-1.46	-1.25	-1.31
<i>q_i</i> /%		99.59	99.81	99.46	100.51	98.91	99.05	98.74
$\Delta C/\text{mmol}\cdot\text{min}^{-1}$		-0.53	-1.30	-1.46	70.16	50.60	38.17	21.60
$[\text{O}]_{\lambda_{\text{left}}}$		97.02	98.64	99.43	0.25	17.71	27.98	67.62
$[\text{O}]_{\text{gas}}$		2.98	1.36	0.57	5.48	17.97	18.08	17.49
$[\text{O}]_{\text{solid}}$		0.00	0.00	0.00	94.27	64.32	53.94	14.89

表 2 反映了颗粒层温度为 400 ℃时含氧可燃气体通过不同种类的颗粒层后气体各参数的变化规律。由表 2 可知,在高温陶瓷过滤器中加入不同种类的颗粒层存在较大差异。当未负载固体颗粒物,含氧燃气通过高温过滤器时各组分的浓度变化不明显,表 2 所示的气体组分浓度出现微弱波动,这是由检测误差引起的;当负载物为 SiO₂时,燃气各组分浓度变化也不明显,说明稳定的固体颗粒物添加对燃气组分基本无影响;当颗粒物为 PBG 时,H₂、CO 和 CH₄浓度的降幅较小,但 O₂浓度出现大幅减小,CO₂浓度出现较大增大,燃气中的 ΔC 出现明显增大, q_r 基本不变,说明含氧燃气通过 PBG 颗粒层

时,其中的 O_2 与 PBG 发生了明显反应,但未与可燃组分发生剧烈反应。以上结果表明,SiO₂ 固体颗粒物不会对含氧燃气高温过滤产生影响,而 PBG 颗粒物则会在该过程中与其中 O_2 发生较大程度反应,并对可燃组分氧化反应造成较小的影响。

此外,对 PBG 颗粒物进行高温处理后,其在该过程中的反应结果也出现明显差异。从表 2 中 PBG 颗粒物反应结果看,当预处理温度高于 600 ℃后,颗粒物对燃气组分的影响几乎不变,这从 $[O]_{\text{gas}}$ 的数值变化可知。然而,预处理温度越高, $[O]_{\text{left}}$ 明显增加, ΔC 和 $[O]_{\text{solid}}$ 明显减小,表明 PBG 的反应性能逐渐变差。

2.3 颗粒物的临氧燃烧反应机理

为研究 PBG 颗粒物在含氧燃气高温过滤过程中能与 O_2 较大程度地发生反应的原因,对 PBG 颗粒物进行 FTIR 红外和 XRD 分析表征,其结果如图 5、图 6。根据图 5 可知,在未发生临氧燃烧反应时,PBG 颗粒物在 2920 cm^{-1} 附近和 $1000\sim 1800\text{ cm}^{-1}$ 范围内出现吸收峰。在 2920 cm^{-1} 附近的峰是由环烷烃及脂肪烃的 $-\text{CH}_2-$ 伸缩振动作用引起的,而在 $1000\sim 1800\text{ cm}^{-1}$ 范围内主要为含氧官能团吸收峰,这说明 PBG 颗粒含有环烷烃及脂肪烃的 $-\text{CH}_2-$ 官能团和含氧官能团。

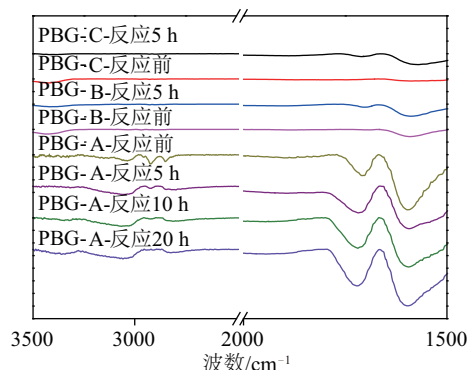


图5 PBG 颗粒物的 FTIR 红外谱图

Fig. 5 FTIR spectrogram of PBG

同时,对于 PBG-A 颗粒物红外谱图,在 2920 cm^{-1} 附近能看到明显的吸收峰,而对于 PBG-B 和 PBG-C 颗粒物,在该处的吸收峰已消失,说明预处理温度达到 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$,环烷烃及脂肪烃的 $-\text{CH}_2-$ 官能团难以存在;而在 $1000\sim 1800\text{ cm}^{-1}$ 范围内,含氧官能团数量也随预处理温度的升高而明显减少。这些结果表明高温处理能明显脱除其环烷烃及脂肪烃的 $-\text{CH}_2-$ 官能团和含氧官能团。此外,根据图 5 结果还可知,在发生临氧燃烧反应后,颗粒物中的环烷烃及脂肪烃 $-\text{CH}_2-$ 官能团数量出现明显减少趋势,含氧官能团数量则明显增加。同时,对于 PBG-A 颗粒物,随着反应时间的延长,其在 2920 cm^{-1} 附近红外吸收峰强度明显减弱甚至消失,而在 $1000\sim 1800\text{ cm}^{-1}$ 范围内红外吸收峰强度明显增强,这说明环烷烃及脂肪烃 $-\text{CH}_2-$ 官能团在临氧燃烧中则易发生反应脱出,而含氧官能团数量则因为颗粒物临氧燃烧反应逐渐增加。结合表 2 中这几种

颗粒物对燃气的影响结果可说明,含环烷烃及脂肪烃 $-\text{CH}_2-$ 官能团的 PBG 颗粒物,其临氧燃烧反应明显,反应机理为 $-\text{CH}_2-$ 官能团的脱出以及含氧官能团的生成。

图 6 为不同 PBG 颗粒物的 XRD 分析谱图。结果显示不同 PBG 颗粒物,其(002)(图中角度约为 25° 的峰)强度差别不大,但(100)(图中角度约为 43° 的峰)峰强度有较大差别,主要表现为预处理温度越高的 PBG 颗粒物中(100)峰强度明显增强。由相关文献^[16]可知,(002)峰表示微晶中芳香碳层片在空间的平行定向和方位定向的程度,此峰越高越窄表示层片定向程度越好;(100)峰表示芳香碳层片大小,此峰越高越窄表明该颗粒物芳香核的缩合度越高。这说明高温能促进 PBG 颗粒物中芳香物的缩合。PBG 颗粒物中含有重组分的焦油类物质,采用高温处理时该类物质会逐渐裂解和缩合,环烷烃及脂肪烃支链含量降低,芳香化程度增强。结合红外分析结果可推断该类物质的存在能明显促进 PBG 颗粒物在高温过滤过程的临氧燃烧反应。

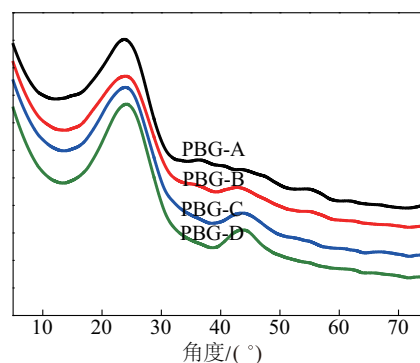


图6 反应前PBG颗粒物的 XRD 谱图

Fig. 6 XRD spectrogram of the PBG before reaction

3 结 论

1)含氧生物质燃气通过 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 PBG 颗粒层时,主要以 PBG 颗粒物的临氧燃烧反应为主,燃气的热值降幅不超过 1%。发生反应后,PBG 颗粒物的质量降低,颜色变浅,燃气过滤压差明显降低。

2) SiO_2 颗粒物不会对含氧燃气高温过滤产生影响,但 PBG 含碳颗粒物会在该过程中与 O_2 发生反应;且对颗粒物热处理温度越高,其越不易发生临氧燃烧反应。

3) FTIR 和 XRD 分析表明 PBG 颗粒物临氧燃烧的反应机理为环烷烃及脂肪烃的 $-\text{CH}_2-$ 官能团的脱出以及含氧官能团的生成,含重组分焦油类物质的 PBG 颗粒物易于在含氧燃气高温过滤中发生临氧燃烧反应。

[参考文献]

- [1] 冯胜山, 许顺红, 刘庆丰, 等. 高温废气过滤除尘技术研究进展[J]. 工业安全与环保, 2009, 35(1): 6—9.
- [1] Feng Shengshan, Xu Shunhong, Liu Qingfeng, et al. The research status of dust removal technology for high temperature exhaust gas[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2009, 35(1): 6—9.
- [2] Patrick J W, Robert C B. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas[J]. Biomass and Bioenergy, 2013, 52(3): 54—84.
- [3] Steffen H. Hot gas filtration-A review[J]. Fuel, 2013, 104(2): 83—94.
- [4] Sharma S D, McLennan K, Dolan M, et al. Design and performance evaluation of dry cleaning process for syngas[J]. Fuel, 2013, 108(6): 42—53.
- [5] Simeone E, Siedlecki M, Nacken M, et al. High temperature gas filtration with ceramic candles and ashes characterization during steam-oxygen blown gasification of biomass[J]. Fuel, 2013, 108(6): 99—111.
- [6] Chen Yishun, Hsiao S S, Lai Sinchang, et al. Filtration of dust particulates with a moving granular bed filter[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 171 (1-3): 987—994.
- [7] Sharma S D, Dolan M, Ilyushechkin A Y, et al. Recent developments in dry hot syngas cleaning processes[J]. Fuel, 2010, 89(4): 817—826.
- [8] 郎 林, 谢建军, 杨文申, 等. 改性陶瓷管高温净化生物质粗燃气的研究[J]. 工程热物理学报, 2014, 35(8): 1665—1668.
- [8] Lang Lin, Xie Jianjun, Yang Wenshen, et al. Hot gas filtration performance of modified ceramic candles for biomass gasification[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2014, 35(8): 1665—1668.
- [9] 龚 智, 苏德仁, 曾中华, 等. 堇青石陶瓷过滤器生物质燃气除尘实验研究[J]. 陶瓷学报, 2011, 32(3): 347—352.
- [9] Gong Zhi, Su Deren, Zeng Zhonghua, et al. Experimental study on cordierite ceramic filter for biomass fuel gas filtration[J]. Journal of Ceramics, 2011, 32(3): 347—352.
- [10] 阴秀丽, 吴晋沪, 定明月, 等. 千吨级生物质气化合成液体燃料关键技术与示范[R]. 455860816-2011BAD22B06/01, 2011.
- [10] Yin Xiuli, Wu Jinhua, Ding Mingyue, et al. The key technology and demonstration of kiloton class production of liquid fuels via biomass gasification[R]. National Science and Technology Report, China, 455860816-2011BAD22B06/01, 2014.
- [11] 郎 林, 阴秀丽, 吴创之, 等. 一种生物质粗燃气高温除尘除焦一体化净化工艺[P]. 中国: 201310590071.7, 2013-11-20.
- [11] Lang Lin, Yin Xiuli, Wu Chuangzhi, et al. A new process for the integrated tar reforming and particulate abatement of the biomass producer gas at high temperatures[P]. China: 201310590071.7, 2013-11-20.
- [12] 吴创之, 应 浩, 李冬梅, 等. 生物质气化发电与热电联供系统研究[R]. 455860816-2012BAA09B03/01, 2012.
- [12] Wu Chuangzhi, Ying Hao, Li Dongmei, et al. Research on biomass gasification power generation and CHP system[R]. National Science and Technology Report, China, 455860816-2012BAA09B03/01, 2012.
- [13] Hidehiro K, Youichi S, Masayuki H. Thermal stress fracture of rigid ceramic filter due to char combustion in collected dust layer on filter surface[J]. Powder Technology, 2001, 115(2): 139—145.
- [14] Miguel G S, Domínguez M P, Hernández M, et al. Characterization and potential applications of solid particles produced at a biomass gasification plant[J]. Biomass Bioenerg, 2012, 47(4): 134—144.
- [15] Catherine E B, Klaus S, Justinus A S, et al. Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems[J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2009, 28(3): 386—396.
- [16] 胡德生. 焦炭微晶结构特性研究[J]. 钢铁, 2006, 41(11): 11—12, 41.
- [16] Hu Desheng. Crystallite structure characteristics of coke[J]. Iron and Steel, 2006, 41(11): 11—12, 41.

PARTIAL OXIDATION MECHANISM OF SOLID PARTICULATE MATTER FROM BIOMASS PRODUCER GAS

Jiang Junfei^{1,2}, Lang Lin¹, Yin Xiuli¹, Wu Chuangzhi^{1,2}

(1. CAS Key Laboratory of Renewable Energy, Guangzhou Institute of Energy Conversion, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The partial oxidation mechanism of particulate matter was studied when the simulated biomass producer gas (SPG) passes through the high temperature solid particle layer in ceramic filter. The results show that when the temperature of particle layer is 400 °C and the oxygen content of SPG gas is 2%, the solid particulate matter produced from biomass gasification (PBG) undergoes significant partial oxidation reaction, and promotes the rapid reduction of filtration pressure, but the calorific value of gas does not fall by more than 1%. The FTIR analysis shows that the reaction mechanism is the release of cycloalkanes and aliphatic hydrocarbons functional groups ($-\text{CH}_2-$) and the formation of oxygen-containing functional groups, combining with XRD analysis, the results show that PBG particles containing tar-like substances are more prone to oxygen combustion reaction.

Keywords: biomass; gasification; particles; filters; oxidation