

生物质流化床气化中试实验研究*

潘贤齐 苏德仁 周肇秋 刘华财 阴秀丽 吴创之

(中国科学院可再生能源重点实验室, 广州 510640)

摘要: 在生物质流化床气化中试装置上考察了不同原料、当量比和水蒸气配比工况下的温度分布、燃气特性和稳定性等气化特性。结果表明: 木屑、稻壳和2种颗粒燃料的气化气体体积分数范围为: H_2 27.1% ~ 30.4%、 CO 29.7% ~ 32.6%、 CO_2 25.3% ~ 27.9%和 CH_4 4.9% ~ 5.8%; 使用木屑和稻壳为原料可比颗粒燃料获得较均匀的气化温度分布, 增加当量比和水蒸气配比可使流化床温度分布更均匀; 在气化炉密相区, 随气化炉高度增加, H_2 和 CO 体积分数升高, CO_2 和 O_2 体积分数降低; 在稀相区气体组分含量随高度变化平缓; 改变气化介质、当量比、水蒸气配比和二次风配比可显著影响气化气体焦油含量; 木屑水分的提高会降低气化稳定性, 稻壳气化过程中易出现炉底温度骤升现象, 颗粒燃料气化过程中易导致密相区温差和压差持续升高。

关键词: 生物质 流化床 气化 中试

中图分类号: TK6 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2014)10-0175-05

引言

生物质气化是把生物质转化为可燃气体的技术。生物质转化为可燃气后, 利用效率较高, 而且用途广泛, 市场前景好^[1-2]。国内外许多学者对生物质气化技术进行了研究, Drift^[3]、Tinaut^[4]、Asadullah^[5]等研究了原料特性对气化特性的影响, Gil^[6-7]、Narváez^[8]、Franco^[9]、盖超^[10]等研究了气化介质对气化特性的影响, Kinoshita^[11]、Yu^[12]、Narvaez^[8]等研究了温度对气化特性的影响, Knight^[13]、Hanaoka^[14]、Lin^[15]等研究了压力对气化特性的影响, Olivares^[16]、Corella^[17-18]、Delgado^[19]等研究了床料(添加剂)对气化特性的影响; 但是, 以上研究主要在小型气化实验装置上完成, 对实际生产应用的大中型气化装置的运行指导性不强。目前, 生物质气化技术的商业化和工业化利用尚处于起

步阶段, 许多气化技术应用的可行性和稳定性有待验证。由于商业和技术保密等原因, 大中型生物质气化装置上的研究报道较少。米铁等^[20]研究了配风对中试流化床气化特性的影响; 范晓旭等^[21]对鼓泡流化床和循环流化床稳态运行时的气化特性进行了对比; 盖超等^[22]研究了下吸式固定床生物质气化温度场和组分场分布特性。本文通过中试流化床气化装置在不同原料、当量比和水蒸气配比等工况下的运行过程和结果研究生物质气化特性, 包括气化炉的温度分布特性、燃气特性及气化过程稳定性。

1 实验部分

1.1 原料

本气化装置运行过程中先后使用多种生物质作为原料, 其主要特性如表1所示。

表1 实验原料的特性

Tab.1 Properties of biomass used in experiments

原料	含水率 M (湿基) / %	元素分析(干基) / %					工业分析(干基) / %			高位热值(干基) / $(MJ \cdot kg^{-1})$
		C	H	O	N	S	挥发分	固定碳	灰分	
木屑	10.4/45.0	45.9	5.4	47.8	0.1	0	82.1	17.1	0.8	17.6
稻壳	10.3	38.3	5.1	43.1	1.7	0.2	67.5	20.8	11.7	14.7
木质成型颗粒	7.2	44.6	8.5	40.8	3.5	0.5	77.8	20.1	2.1	19.3
秸秆成型颗粒	6.8	43.2	5.7	35.9	3.7	0.2	68.7	20	11.3	17.3

注: O元素质量分数由差减法得到。

收稿日期: 2013-10-09 修回日期: 2013-11-22

* 国家自然科学基金资助项目(51176194)、“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAA09B03)和广东省中国科学院全面战略合作资助项目(2011A090100002)

作者简介: 潘贤齐, 高级工程师, 主要从事生物质应用气化研究, E-mail: panxq@ms.giec.ac.cn

通讯作者: 阴秀丽, 研究员, 博士生导师, 主要从事生物质能源转化研究, E-mail: xlyin@ms.giec.ac.cn

1.2 实验装置

气化实验装置为常压流化床,主体直径0.5 m,总高度约9.5 m,如图1所示。

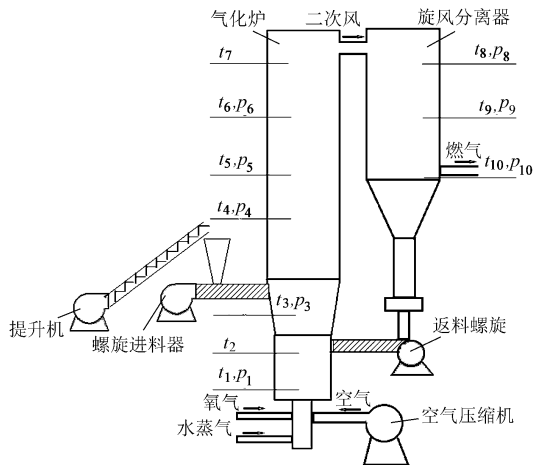


图1 生物质流化床气化中试装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of pilot-scale fluidized bed for biomass gasification

气化炉可使用空气、富氧气体、水蒸气或它们之间的混合物作为气化介质,空气由离心鼓风机提供,富氧气体由变压吸附制氧机提供,富氧浓度为 $(93 \pm 5)\%$,水蒸气由饱和蒸汽锅炉提供,锅炉出口处水蒸气压力约为0.7 MPa,温度约为170℃。

在气化炉体上不同高度位置安装了7个测温点和5个测压点,用于监测气化炉运行温度和压力,温度和压力测点同时可作为采样点。其中下部密相区有3个测温点和2个测压点(t_1 、 p_1 测点:高度 $h = 0.4$ m, t_2 测点: $h = 2.0$ m, t_3 、 p_3 测点: $h = 2.85$ m),中间过渡区有1个测温点和1个测压点(t_4 、 p_4 测点: $h = 4.76$ m),上部稀相区有3个测温点和2个测压点(t_5 、 p_5 测点: $h = 6.02$ m, t_6 、 p_6 测点: $h = 7.28$ m, t_7 测点: $h = 9.25$ m)。

在旋风分离器上不同高度位置安装了3个测温点和测压点(t_8 、 p_8 测点: $h = 9.25$ m, t_9 、 p_9 测点: $h = 7.28$ m, t_{10} 、 p_{10} 测点: $h = 5.66$ m)。旋风分离器与气化炉的连接管道上设置二次风入口,可通入富氧气体。旋风分离器底部安装返料器,将分离下来的颗粒由旋风分离器底部送入气化炉。

1.3 实验方法

每次实验前,先将气化炉内及旋风分离器的灰渣排出,将点燃的木炭加入气化炉内,同时将生物质原料倒入料仓使进料口密封,再鼓入少量空气使木炭燃烧,待气化炉床层区温度升高至500℃后,开始缓慢加入原料并通入大量空气,使气化炉温度升高,直至气化炉各点温度接近实验要求。通过调节进料速率、气化介质通入量等手段,进行气化实验,其中当量比 R_{ER} 和水蒸气配比 S/B 是气化过程的重要控

制参数, R_{ER} 为气化过程所消耗的氧气量与完全燃烧所需要的理论氧气量之比, S/B 是气化过程水蒸气流量速率与生物质供料速率之比。更换原料的实验,需在当前实验结束后重新开始,以排除炉内残余物的干扰。

1.4 样品采集与测量方法

当气化炉温度稳定后,炉内各测点温度的波动在 $\pm 15^\circ\text{C}$ 范围内,开始采样,每组实验采样3次,以消除实验随机误差。本文实验的气体 and 焦油样品由测压点 p_{10} 处采集。气体产物使用日本岛津公司GC-20B型气相色谱仪进行分析。通过标准气校正法将气体中 H_2 、 O_2 、 N_2 、 CO 、 CH_4 、 CO_2 、 C_2H_2 、 C_2H_4 和 C_2H_6 等成分进行定量分析。焦油采集测量采用质量分析法^[20],燃气由取样管经过加热的过滤器除去颗粒后,通过异丙醇吸收焦油,使用旋转蒸发器将收集到的焦油分离出来,然后在分析天平上称量,通过计算得到燃气中焦油的含量。

2 结果与讨论

2.1 气化炉的温度分布特性

温度是气化过程的重要参数,气化炉的温度分布影响燃气特性和气化过程的稳定性。不同原料的富氧-水蒸气气化过程中,气化炉温度的轴向分布如图2所示。

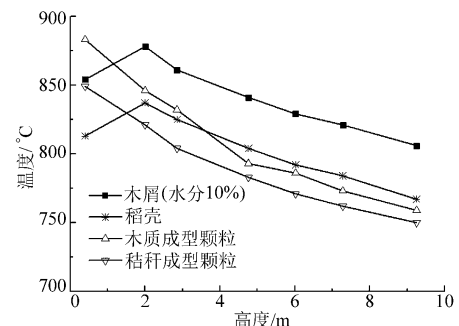


图2 不同原料气化过程中的气化炉轴向温度分布

($R_{ER} = 0.26$, $S/B = 0.3$)

Fig.2 Axial profile of gasifier temperature with different biomass fuels ($R_{ER} = 0.26$, $S/B = 0.3$)

从图2可以看出,在相同的 R_{ER} 和 S/B 条件下,对于木屑和稻壳气化,温度测点 $t_1 \sim t_3$ 均位于加料螺旋以下,物料由螺旋加料器进入气化炉内发生快速热解需要吸收大量的热量,而热解后炙热的焦炭与由炉底通入的气化介质发生氧化反应,放出大量的热量,因此温度 t_2 比 t_3 稍高。位于炉底的温度测点 t_1 最靠近布风板,一方面温度相对较低的气化介质由此通入冷却了此区域,另一方面生物质气化产生的灰在炉底聚集,炉底附近焦炭的氧化反应较少,因此温度 t_1 比 t_2 稍低。温度测点 $t_4 \sim t_7$ 均位于加料

螺旋以上,大部分氧气在进入此区域前已经消耗,此区域主要为吸热的还原反应,因此 t_3 与 t_4 之间的温差较大,并且加料螺旋以上区域的温度自下而上逐渐降低。炉顶处温度 t_7 最低,与最高温度 t_2 相差约 100°C ,炉内温度梯度较小,这说明炉内颗粒流态化相对充分。而对于 2 种成型颗粒气化,最高温度均出现在炉底,而且炉内的温度梯度较大,这表明炉内颗粒流态化相对不足,大量物料进入气化炉内后尚未完全反应就聚集炉底,因此大量焦炭与氧气在炉底反应,容易在炉底形成局部高温区,同时此区域为灰渣聚集区域,容易出现结渣现象。

对于同一原料(以木屑为例), R_{ER} 和 S/B 的改变也会影响气化炉内温度分布,如图 3 所示。

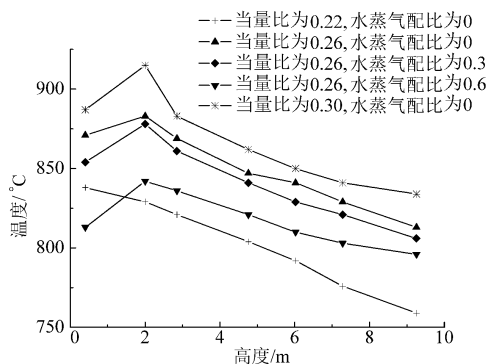


图 3 木屑气化过程中,不同当量比和水蒸气配比下的气化炉轴向温度分布 ($M = 10\%$)

Fig. 3 Axial profile of gasifier temperature with different R_{ER} and S/B in sawdust gasification ($M = 10\%$)

由图 3 可见,当 $R_{ER} = 0.22$ 时, t_1 比 t_2 略高,说明 R_{ER} 较低时,通入的气化介质较少,炉内物料流态化相对不足。随着 R_{ER} 的增加,鼓风不足的问题得以缓解,氧化反应的高温区域上移,放热的氧化反应加强使炉内各点温度提高。随着 S/B 的增加,由于水蒸气通入温度远低于炉内各点温度,并且参与的反应主要为吸热反应,因此炉内各点温度随之降低,而水蒸气的增加有助于炉内物料的流态化,因此整个炉内的温度梯度有减小的趋势。水蒸气的加入对于调节炉内温度分布效果比较明显,可以有效防止结渣现象的发生。

2.2 生物质燃气特性

在气化过程(以木屑为例)中,由于气化炉内各区域的物料、温度分布及气体的停留时间不同,因此不同区域的气体组分会有所差别,气化炉轴向的气体体积分数分布见图 4。

由图 4 可见,气体组分在温度测点 t_4 以下的区域内变化趋势很明显,该区域为密相区,物料浓度高,也是氧气参与反应的主要区域,温度较高,因此反应较剧烈,气体组分变化较大。 t_4 以上区域为稀

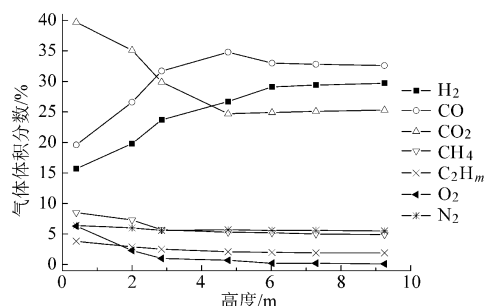


图 4 木屑气化过程中,气化炉轴向气体体积分数分布 ($M = 10\%$, $R_{ER} = 0.26$, $S/B = 0.3$)

Fig. 4 Axial profile of gas composition in sawdust gasification ($M = 10\%$, $R_{ER} = 0.26$, $S/B = 0.3$)

相区,物料浓度小,氧气少,该区域的气化介质主要为水蒸气,反应大部分为吸热,因此尽管停留时间较长,气体组分变化较平缓。

生物质在化学特性和物理特性上的差别直接影响气化各参数,不同原料气化过程得到的燃气组分如表 2 所示。

表 2 多种生物质燃料的氧气-水蒸气气化实验结果 ($R_{ER} = 0.26$, $S/B = 0.3$)

Tab. 2 Experiment results of oxygen-steam gasification with different biomass fuels ($R_{ER} = 0.26$, $S/B = 0.3$)

项目	气体体积分数(干基) $\phi/\%$				
	H_2	CO	CO_2	CH_4	C_2H_m
木屑 ($M = 10\%$)	29.7	32.6	25.3	4.9	1.9
稻壳	27.1	31.8	27.9	5.8	2.2
木质成型颗粒	30.4	29.7	26.8	5.3	2.1
秸秆成型颗粒	28.2	31.2	27.4	5.7	2.3

从表 2 可见,与稻壳相比,木屑气化取得更高的 H_2 ,与此类似,木质成型燃料在这些方面也明显优于秸秆成型燃料,木质类的生物质原料中通常 C 和 H 元素体积分数比秸秆类高,热值更高,在相同的 R_{ER} 和 S/B 条件下,气化温度更高,因此通常气化效果更佳。同时,与木质成型颗粒相比,木屑气化过程燃气中 H_2 体积分数略低。另外,在不同原料的气化过程中,气化炉内的温度分布及稳定性是不同的,详见本文 2.2 和 2.3 节。

改变 R_{ER} 和 S/B 值是调节气体组分的常用方法,气体组分随 R_{ER} 和 S/B 值的变化规律已有研究^[24],本文只作简略叙述。 H_2 体积分数变化趋势相对比较复杂, R_{ER} 较低 (< 0.21) 或者较高 (> 0.31) 都不利于 H_2 体积分数的提高, R_{ER} 在 $0.25 \sim 0.27$ 之间 H_2 体积分数最高。水蒸气的通入可以加强水蒸气变换反应,但 H_2 体积分数随 S/B 的增加为先升高后降低的趋势。 R_{ER} 越高,使 H_2 体积分数开始下降的 S/B 值越高; CO 体积分数随 R_{ER} 和 S/B 的增加均为单调下降趋势; CO_2 体积分数的变化趋势与 CO 大

致相反,当 R_{ER} 较低且 S/B 较高时 CO_2 体积分数升高尤为明显; CH_4 和其他碳氢化合物体积分数较低,变化规律不明显。

焦油是气化过程中不可避免有害产物,其含量随气化条件变化很大,气化炉运行过程中发现,气体中焦油体积分数随 R_{ER} 增加而降低;在相同 R_{ER} 条件下,木屑富氧气化过程中焦油体积分数最低,空气气化最高,富氧-水蒸气气化介于两者之间;对于同种气化介质,在相同的 R_{ER} 条件下,稻壳和木质颗粒气化过程中的焦油体积分数高于木屑,原料水分的增加会提高焦油体积分数;通入二次风可以明显降低气体中的焦油体积分数。

2.3 气化过程的稳定性

在气化过程中,很难获得炉内实际的流态化状况,通常通过温度和压力的变化趋势来判断。图5和图6给出了不同原料在气化过程中,床层区温度差 Δt ($\Delta t = t_3 - t_1$)和压力差 Δp ($\Delta p = p_3 - p_1$)随时间变化的趋势。

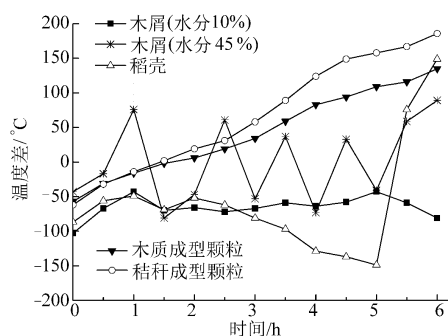


图5 不同原料气化过程中,床层区温度差随时间的变化($R_{ER} = 0.27$, $S/B = 0.3$)

Fig. 5 Bed temperature drop with operation time in gasification with different fuels ($R_{ER} = 0.27$, $S/B = 0.3$)

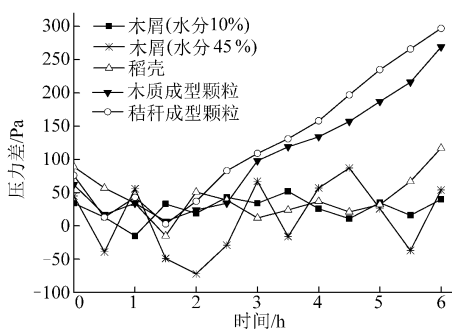


图6 不同原料气化过程中,床层区压差随时间的变化($R_{ER} = 0.27$, $S/B = 0.3$)

Fig. 6 Bed pressure drop with operation time in gasification with different fuels ($R_{ER} = 0.27$, $S/B = 0.3$)

在图5和图6中,前0.5 h均为以木屑为原料的气化炉热启动过程,此后为各种原料的气化过程, R_{ER} 和 S/B 值保持不变。从图中可以看出,在水分为10%的木屑气化过程中, Δt 在 $-103 \sim -43^\circ\text{C}$ 范

围内变化, Δp 在 $-15 \sim 52$ Pa范围内变化,水分为45%的 Δt 在 $-81 \sim 89^\circ\text{C}$ 范围内变化, Δp 在 $-72 \sim 87$ Pa范围内变化。可见,水分增加时,虽然 Δt 和 Δp 仍然上下波动,但是波动幅度明显增大,说明气化炉内物料流态化稳定性降低,控制难度增加;稻壳气化时, Δt 先在 -70°C 附近上下波动,随着气化的进行,越来越多的稻壳灰积聚于炉底, Δt 持续加大,直至 Δt 达到 -150°C 左右,又迅速变化为 150°C 左右,与此同时 Δp 也由原来的上下波动转变为单调增加,说明炉底有结渣的趋势。在两种颗粒的气化过程中, Δt 和 Δp 的变化趋势基本一致, Δt 先缓慢增加,此时 Δp 上下波动,随着气化的进行,越来越多的未完全反应的颗粒积聚于炉底, Δt 和 Δp 均呈单调增加的趋势,而且速度越来越快,说明炉内物料流态化严重恶化,温度失控,炉底有结渣的趋势。由此可见,对于不同的原料,其气化过程的稳定性差别很大,需针对气化过程中出现的异常现象及时改变操作条件,对炉内温度和压力进行适当调节,维持气化过程的稳定进行。

3 结论

(1) 稻壳和木屑气化过程中,温度梯度较小,气化炉高度 $h = 2.0$ m处温度最高;成型颗粒燃料气化过程中,气化炉高度 $h = 0.4$ m处温度最高。气化过程中可通过增加 R_{ER} 和 S/B 值加强炉内物料流化,使温度分布更均匀。

(2) 在气化炉密相区,气化炉高度增加, H_2 和 CO 体积分数升高, CO_2 和 O_2 体积分数降低,在稀相区气体组分随高度变化平缓。

(3) 在富氧-水蒸气气化中,当 R_{ER} 为0.26, S/B 为0.3时,稻壳、木屑和2种成型燃料制备的粗燃气典型组分如下: H_2 27.1% ~ 30.4%、 CO 29.7% ~ 32.6%、 CO_2 25.3% ~ 27.9%、 CH_4 4.9% ~ 5.8%。 H_2 体积分数在 R_{ER} 为0.25 ~ 0.27之间时最高,但随 S/B 值的增加先升高后降低, R_{ER} 越高,使 H_2 体积分数开始下降的 S/B 值越高。

(4) 不同气化介质气化产生焦油体积分数由低到高依次是:富氧气化、富氧-水蒸气气化,空气气化。同种气化介质的气化过程中,木屑比稻壳和2种成型燃料产生的焦油体积分数都低。气体中焦油体积分数随原料水分的增加而增加,通过增大 R_{ER} 和二次风调整,可有效降低燃气的焦油体积分数。

(5) 木屑气化过程相对稳定,但水分的增加会降低其稳定性;稻壳气化产生大量的灰分,炉底灰积聚过多会引起温度骤升;成型颗粒气化,流化不足会引起密相区温差和压差持续升高。

参 考 文 献

- 1 吴创之, 马隆龙. 生物质能现代化利用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- 2 Basu P. Biomass gasification and pyrolysis: practical design and theory [M]. Burlington: Academic Press, 2010.
- 3 Drift A, Doorna J, Vermeulenb J. Ten residual biomass fuels for circulating fluidized-bed gasification [J]. Biomass and Bioenergy, 2001, 20(1): 45–56.
- 4 Tinaut F, Melgar A, Pérez J, et al. Effect of biomass particle size and air superficial velocity on the gasification process in a downdraft fixed bed gasifier. An experimental and modelling study [J]. Fuel Processing Technology, 2008, 89(11): 1076–1089.
- 5 Asadullah M, Zhang S, Min Z H, et al. Importance of biomass particle size in structural evolution and reactivity of char in steam gasification [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2009, 48(22): 9858–9863.
- 6 Gil J, Corella J, Aznar M P, et al. Biomass gasification in atmospheric and bubbling fluidized bed: effect of the type of gasifying agent on the product distribution [J]. Biomass and Bioenergy, 1999, 17(5): 389–403.
- 7 Gil J, Aznar M, Caballero M, et al. Biomass gasification in fluidized bed at pilot scale with steam-oxygen mixtures. Product distribution for very different operating conditions [J]. Energy Fuels, 1997, 11(6): 1109–1118.
- 8 Narvúez I, Orío A, Aznar M, et al. Biomass gasification with air in an atmospheric bubbling fluidized bed. Effect of six operational variables on the quality of produced raw gas [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 1996, 35(7): 2110–2120.
- 9 Franco C, Pinto F, Gulyurtlu I, et al. The study of reactions influencing the biomass steam gasification process [J]. Fuel, 2003, 82(7): 835–842.
- 10 盖超, 董玉平. 下吸式固定床生物质气化温度场和组分场分布特性 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(5): 91–96.
Gai Chao, Dong Yuping. Temperature distribution and gas composition of biomass gasification in downdraft fixed bed gasifier [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(5): 91–96. (in Chinese)
- 11 Kinoshita M R, Wang Y, Zhou J. Tar formation under different biomass gasification conditions [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1994, 29(2): 169–181.
- 12 Yu Q Z, Brage C, Chen G X. Temperature impact on the formation of tar from biomass pyrolysis in a free-fall reactor [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1997, 40–41: 481–489.
- 13 Knight R. Experience with raw gas analysis from pressurized gasification of biomass [J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 18(1): 67–77.
- 14 Hanaoka T, Yoshida T, Fujimoto S, et al. Hydrogen production from woody biomass by steam gasification using a CO₂ sorbent [J]. Biomass and Bioenergy, 2005, 28(1): 63–68.
- 15 Lin S Y, Suzukia Y, Hatano H, et al. Pressure effect on char combustion in different rate-control zones: initial rate expression [J]. Chemical Engineering Science, 2000, 55(1): 43–50.
- 16 Olivares A, Aznar M, Caballero M, et al. Biomass gasification: produced gas upgrading by in-bed use of dolomite [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 1997, 36(12): 5220–5226.
- 17 Corella J, Toledo J, Padilla R. Olivine or dolomite as in-bed additive in biomass gasification with air in a fluidized bed: which is better? [J]. Energy and Fuels, 2004, 18(3): 713–720.
- 18 Corella J, Aznar M, Gil J, et al. Biomass gasification in fluidized bed: where to locate the dolomite to improve gasification? [J]. Energy Fuels, 1999, 13(6): 1122–1127.
- 19 Delgado J, Aznar M. Biomass gasification with steam in fluidized bed: effectiveness of CaO, MgO, and CaO-MgO for hot raw gas cleaning [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 1997, 36(5): 1535–1543.
- 20 Paasen S, Kiel J, Neeft J, et al. Guideline for sampling and analysis of tar and particles in biomass producer gases [R]. Petten: ECN, 2002.
- 21 米铁, 张春林, 刘武标 等. 流化床作为生物质气化反应器实验研究 [J]. 化学工程, 2003, 31(5): 26–30.
Mi Tie, Zhang Chunlin, Liu Wubiao, et al. Experimental study of biomass gasification in fluidized bed gasifier [J]. Chemical Engineering, 2003, 31(5): 26–30. (in Chinese)
- 22 范晓旭, 贤建伟, 初雷哲 等. 生物质鼓泡流化床和循环流化床对比试验 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(4): 96–99.
Fan Xiaoxu, Xian Jianwei, Chu Leizhe, et al. Comparison of bubbling fluidized bed and circulating fluidized bed in gasification of biomass [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(4): 96–99. (in Chinese)
- 23 盖超, 董玉平. 下吸式固定床生物质气化温度场和组分场分布特性 [J]. 农业机械学报, 2013, 43(5): 91–96.
Gai Chao, Dong Yuping. Temperature distribution and gas composition of biomass gasification in downdraft fixed bed gasifier [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 43(5): 91–96. (in Chinese)
- 24 苏德仁, 周肇秋, 谢建军 等. 生物质流化床富氧-水蒸气气化制备合成气研究 [J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 100–104.
Su Deren, Zhou Zhaoqiu, Xie Jianjun, et al. Biomass oxygen enriched-steam gasification in an atmospheric fluidized bed for syngas production [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 100–104. (in Chinese)

(下转第 287 页)

A Detection Method of Tomato Phosphorus Level Based on Micro-structure of Leaf

Li Qinglin¹ Mao Hanping¹ Zuo Zhiyu¹ Zhang Xiaodong¹ Sun Jun²

(1. Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China 2. School of Electrical and Information Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The object of this study was to seek a new way to detect the phosphorus levels of tomato rapidly. Taking the tomato grown under different phosphorus levels as the object of the research, SEM (Scanning Electron Microscope) and TEM (Transmission Electron Microscope) were adopted to evaluate the effects of phosphorus levels on micro-structure and ultra-structure of tomato leaf. The results showed that for the control treatment plant, the thickness of leaf was $(124 \pm 2.14) \mu\text{m}$, the stomatal and trichome density was $(233.0 \pm 5.5) \text{mm}^{-2}$ and $(34.2 \pm 1.33) \text{mm}^{-2}$ respectively, the height of trichomes was $(97.0 \pm 2.83) \mu\text{m}$, and the size of the stoma was $13.91 \pm 0.85 \mu\text{m}$. In comparison with the control treatment, the thickness of leave, the density of stomata, the density and the height of trichomes decreased significantly in response to low phosphorus levels, while the changes in stomata size were not significant. The size of stomata, the density of trichomes, the number of vascular bundle were increased in high phosphorus level plants, while the density of stomata, the length of trichomes did not change markedly. At the ultra-structural level, low phosphorus supplied cell contained chloroplast so that it had begun to lose their structural integrity, and high phosphorus supplied cell had thicker cell wall, but the structure did not change observably. Based on the results, a new method to detect phosphorus levels rapidly was proposed.

Key words: Tomato Micro-structure Phosphorus levels Rapid detection

(上接第 179 页)

Experimental Investigation of Biomass Gasification in a Pilot-scale Fluidized Bed Gasifier

Pan Xianqi Su Deren Zhou Zhaoqiu Liu Huacai Yin Xiuli Wu Chuangzhi

(Key Laboratory of Renewable Energy of CAS, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The effects of equivalence ratio (R_{ER}) and steam/biomass (S/B) ratio on gasification performances such as temperature distribution, gas composition and gasification stability were investigated in a pilot-scale fluidized bed gasifier with different feedstocks (sawdust, rice husk, wood pellet and straw pellet). The results showed that typical product gas percentage components from gasification were as follows: H_2 27.1% ~ 30.4%, CO 29.7% ~ 32.6%, CO_2 25.3% ~ 27.9%, CH_4 4.9% ~ 5.8%. The uniformity of temperature distribution increased with R_{ER} and S/B ratio. More uniform temperature distribution was obtained in the case of sawdust and rice husk gasification. In the downstream direction of the dense phase zone, H_2 and CO increased significantly whereas CO_2 and O_2 decreased considerably. In the dilute phase zone, the components of product gas varied slightly. Increasing the moisture content of sawdust will deteriorate the gasification stability. An abrupt increase of temperature in the bottom of gasifier was observed during the rice husk gasification. A consistent increase of temperature drop and pressure drop was observed in the dense phase zone in the case of wood pellet and straw pellet gasification.

Key words: Biomass Fluidized bed Gasification Pilot plant