

Microcosmic Analysis on Co-Combustion of Biomass and Coal in the Sedimentation Furnace

Tianhua Yang, Xu Wang, Xingping Kai, Yang Sun, Yeguang He

Shenyang Aerospace University, Shenyang, China, 110036

e-mail thyang@syiae.edu.cn

Abstract: Simulating the boilers in factories, Experiments on co-combustion of biomass and coal In the sedimentation furnace are made. Two conditions are accepted to make experiments and to analysis, One is the same temperature but the differ proportion, another is the same proportion but the differ temperature. Conclusions are drawn that Biomass content and temperature are important factors which impact the slagging microcosmic characteristics during the process of Co-combustion.

Keywords: sedimentation furnace, co-combustion, slagging, microcosmic characteristics

沉降炉中生物质与煤混合燃烧灰渣微观特性分析

杨天华, 王旭, 开兴平, 孙洋, 贺业光

沈阳航空航天大学, 沈阳, 中国, 110136

E-mail thyang@syiae.edu.cn,

摘要: 在沉降炉中, 模仿生产锅炉部分工况进行生物质与煤混合燃烧实验, 在相同温度下不同比例和相同比例下不同温度两种情况进行实验并进行分析, 得出结论: 生物质含量和温度是影响混燃中积灰结渣过程中积灰的重要因素。

关键词: 沉降炉 混燃 灰渣 微观特性

1 引言

生物质能以可再生、年产量大、CO₂ 零排放等特性, 成为许多国家能源开发利用的重要组成部分。但是在对其利用过程中也产生了诸多问题。由于生物质中含有较多的碱金属和碱土金属, 使其在直接燃烧过程中易产生大量灰渣, 粘附在锅炉水冷壁处^[1], 影响传热过程, 降低能源利用率并使能耗和成本增加, 严重时将导致锅炉停产甚至发生事故, 所以, 国内外对生物质利用中因碱金属结渣问题的研究比较重视, 提出解决问题的思路和方法主要有以下几种: 使用添加剂; 寻找适宜的惰性材料; 生物质与其他燃料混燃烧(如煤); 适宜的燃烧器设计; 碱金属的脱除等^[2]。

本文以生物质与煤混合燃烧为研究对象, 对其混燃过程中积灰动态特性展开深入研究, 目前, 对混燃灰沉积特性的研究多停留在静态批量成灰方式上^[3], 与实际生产中锅炉燃烧条件差别很大, 所以研究与锅炉燃烧工况更为接近的动态成灰特性更有实际意义。

基金项目: 国家自然科学基金(50706030); 辽宁省高校创新团队项目(2007T141)

2 实验

2.1 实验原料及其制备

本实验选用宜阳煤和水稻秸秆为原料进行混合燃烧实验, 工业分析和元素分析如表 1 所示。原料经过干燥后切割研磨, 并过筛 270 μm 以下存放于自封袋中并置于干燥处备用。

表 2.1 样品的工业分析(%)

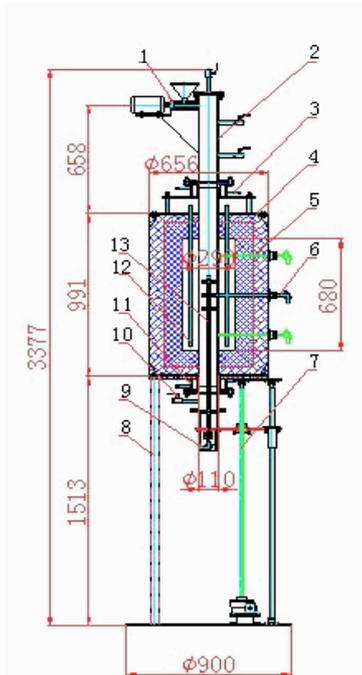
样品	工业分析(%)			
	水分	灰分	挥发份	固定碳
铁法煤	3.36	15.22	39.06	42.36
水稻秸秆	6.63	11.98	80.26	1.13

表 2.2 样品的元素分析(%)

样品	元素分析(%)				
	C	S	H	O	N
铁法煤	64.88	0.39	4.28	11.27	0.72
水稻秸秆	39.04	0.07	4.27	36.6	1.14

2.2 实验装置及过程

本实验采用自制管式高温沉降炉，如图 1，额定功率为 18 kW，内径 110 mm，最高耐温 1300 度。



- 1.送料装置 2. 耐热钢管 3.上密封装置 4.炉壳 5.炉膛
- 6.热电偶 7.升降装置 8.炉体支柱 9.热电偶 10.烟气出口
- 11.下密封装置 12.硅碳棒 13.结渣棒

图 1. 管式高温反应炉

结渣采样位于图中位置 13. 结渣棒上, 棒上可以取到炉膛内多个方位的灰渣。实验时, 用 12. 硅碳棒加热炉膛达到预定温度, 用空气压缩机 (未列出) 输送空气达到预定空气量, 在顶部通过 1. 送料装置的螺旋进料器匀速加入各种混合燃料。

2.3 分析仪器及方法

6400A 型火焰光度计: 用于对钾、钠元素的分析与测试。

KYH-V 型化学成分快速分析仪: 用于 Al_2O_3 、 TiO_2 、 CaO 、 SiO_2 、 MgO 和 Fe_2O_3 等成分的分析与测试。

采用型号为 Pro MPD 的 X 射线衍射分析仪, 扫描方式为 θ / θ , 测量范围为 $5^\circ - 160^\circ$, 扫描速度为 $5^\circ / \text{min}$, X 射线发生器的最大功率为 3KW, 最大管电流为 60mA, 最大管电压为 60KV。

采用日立 S-3400N 扫描电子显微镜, 扫面电子显微镜的分辨率为二次电子像 3nm, 背反射电子像 4nm,

放大倍数 5-300000 倍。

采用 5E-AFIII 型智能灰熔融测定仪, 最高测量温度为 1600°C , $5-30^\circ\text{C}/\text{min}$ 内精度可达到 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

3 实验结果与分析

3.1 混合比例对水稻秸秆与煤混燃灰熔融温度的影响

灰形貌的多样性反映出样品中的无机物存在形式的不同, 图 2 相同温度情况下不同水稻 (50 目) 比例共烧的灰样形貌图。

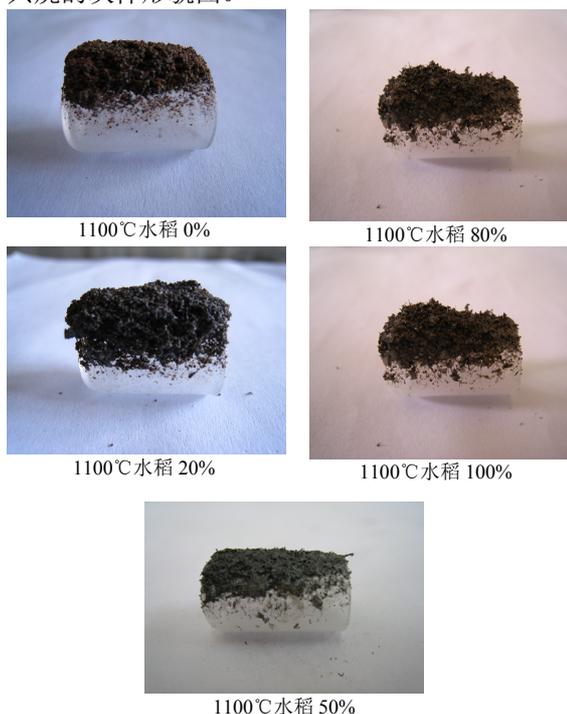
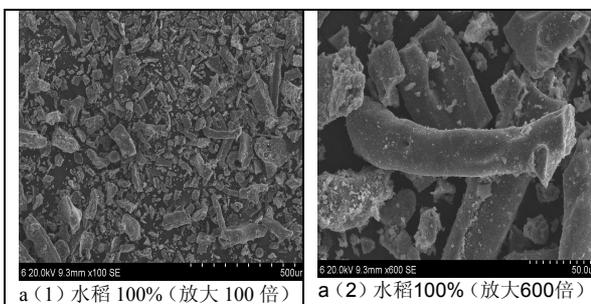


图 2 1100°C 下不同水稻含量燃料灰样表面形态

从图2中可以看出在温度相同, 随着水稻占混合燃料比例的逐渐增大灰样的形貌越致密越, 结渣更趋近于致密结渣类型, 孔隙度渐小, 外力越难破坏结渣外形, 说明结渣程度加深。



a (1) 水稻 100% (放大 100 倍) a (2) 水稻 100% (放大 600 倍)

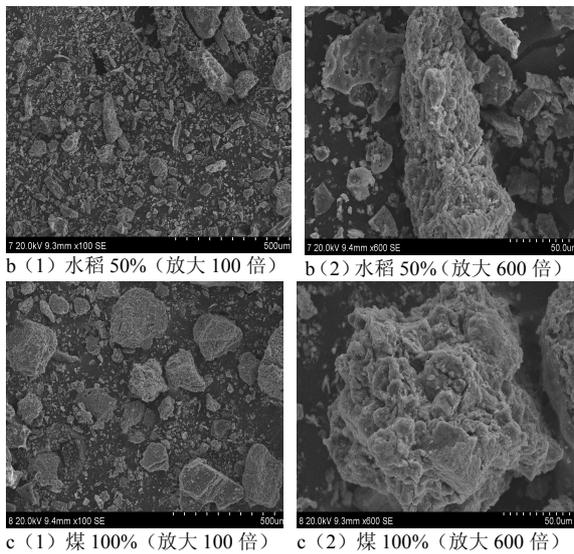


图3 1100℃时不同混合比例燃料灰样 SEM 图

从图3可以看出，对于煤与水稻秸秆的纯物质，煤灰中颗粒较复杂与灰中物质比较复杂相关，主要为大小不一的片状碎屑物质，其中夹杂着大块棒状和块状物质，见图3 (a)，有文献表明，这些碎屑状物质是高岭土等粘土矿类物质崩解后的产物^[4]。与煤灰的形貌相比较可以看出，秸秆中的颗粒团聚比较厉害，见图3 (a)，说明秸秆灰较煤灰易熔融。当水稻混合比例为50%时灰样颗粒相对均匀，既没有大块棒状和块状物质，也不像煤灰灰样那样颗粒形状复杂。

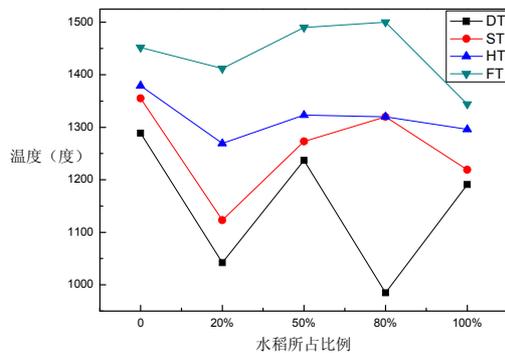


图4 不同水稻秸秆含量灰熔点变化

从图4可以看出，随着秸秆含量的增加，混合物灰的特征温度除DT外，呈“上凸”非线性下降趋势，这与成分分析结果较吻合，主要是由于灰样中碱金属含量增高所致，而碱金属主要来自水稻秸秆中，因此随

着混合物中秸秆含量的增加熔融温度降低；随着混合物中秸秆含量的线性增加熔融温度呈现“上凸”非线性趋势，说明混合后煤起到了主导作用，这从Tillman^[5]的研究可以得到验证，秸秆与煤混合物图谱与煤的衍射峰位置大致相同，而与秸秆衍射峰却有较大区别，用MDI jade 5.0软件分析主要是KCl ($2\theta = 28.34$ 、 40.51 、 50.17)的结晶相，这与水稻秸秆灰中K含量较高有关。由灰成分分析得知SiO₂含量较高，但XRD图谱中没有明显的SiO₂衍射峰，说明灰中的SiO₂很少以单体形式存在。灰中含有的物质较复杂，其XRD衍射图谱是其内部各种物相的衍射波的叠加^[6]，各成分对X-射线的吸收或反射量是不同的，它不仅与矿物质含量有关，而且与矿物质本身结晶性好坏、混合物中其它矿物质的存在有关。另外，不同物质之间可能在相同角度处有衍射峰，只是强度有差别，发生峰与峰之间的覆盖，分析比较复杂，因此检出物并不能覆盖灰中的所有物质^[7]。

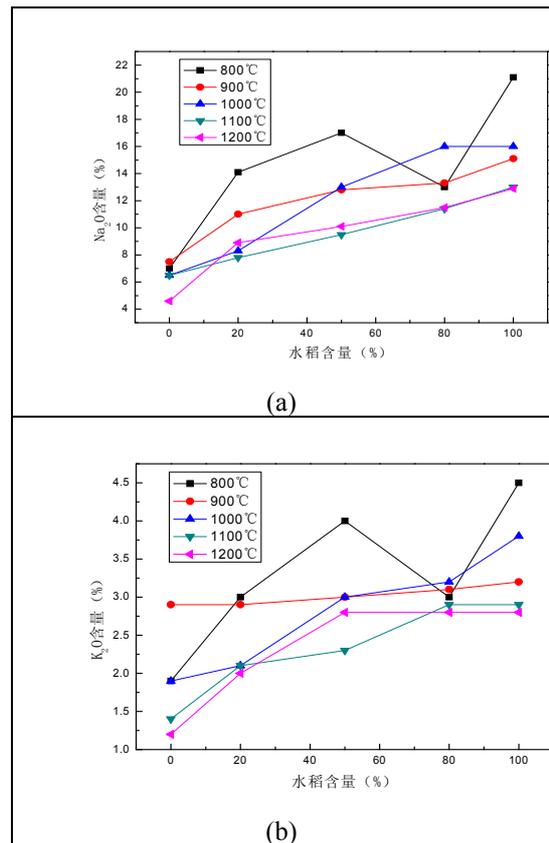


图5 不同水稻秸秆含量下灰中 Na₂O 和 K₂O 变化趋势

图4反映的“上凸”型变化趋势说明了将水稻秸

秆和煤混合燃烧后，有利于改善水稻秸秆单独燃烧灰熔点较低的劣势。图5 (a) Na_2O (b) K_2O 随秸秆含量增加呈上升趋势，碱金属能降低灰熔点，这与图4的“上凹”下降的变化趋势一致。从图3 c (1)可见，铁法煤灰中主要为大小不一的片状碎屑物质，其中夹杂着大块棒状和块状物质，有关资料表明，这些碎屑状物质是高岭土等粘土矿类物质崩解后的产物^[8]。与煤灰的形貌相比，秸秆灰形貌中含有的颗粒棱角分明，质地密实，见图3a (2)，说明在该温度下秸秆灰发生了熔融。将秸秆与煤的混燃灰形貌图与纯煤与秸秆灰形貌图进行对比可以看出，混燃灰呈蓬松棉絮状，结构疏松，带有孔隙。灰样对比说明，煤与秸秆混合燃烧后，随着秸秆量的增加，灰熔融趋势越明显，这主要是随秸秆含量增加碱金属K、Na增多引起的，这与灰熔点和灰成分测试结果吻合。

3.2 温度对水稻秸秆与煤混合物灰熔融的影响

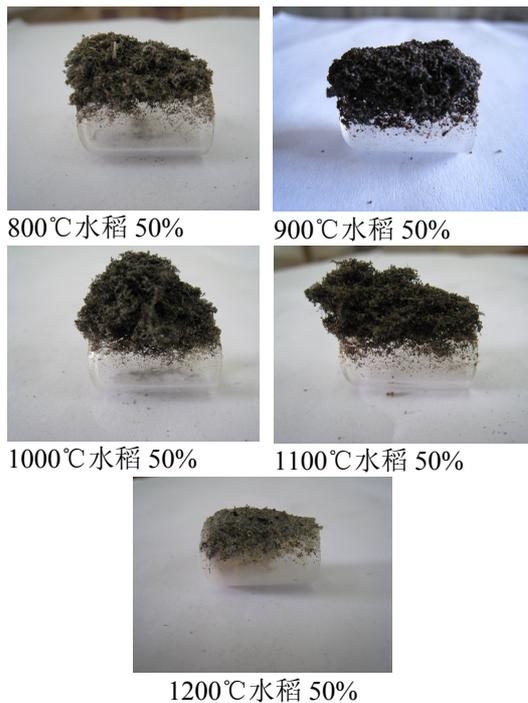


图6 不同温度下水稻混合比例为50%时灰样表面形态

从图6中可以看出，在混合比例一定的情况下，随着燃烧温度的上升灰样的外在形貌越来越致密，蓬松程度越来越低，与此同时对吸附表面的粘附程度也越来越高，表明随温度升高结渣程度加深。

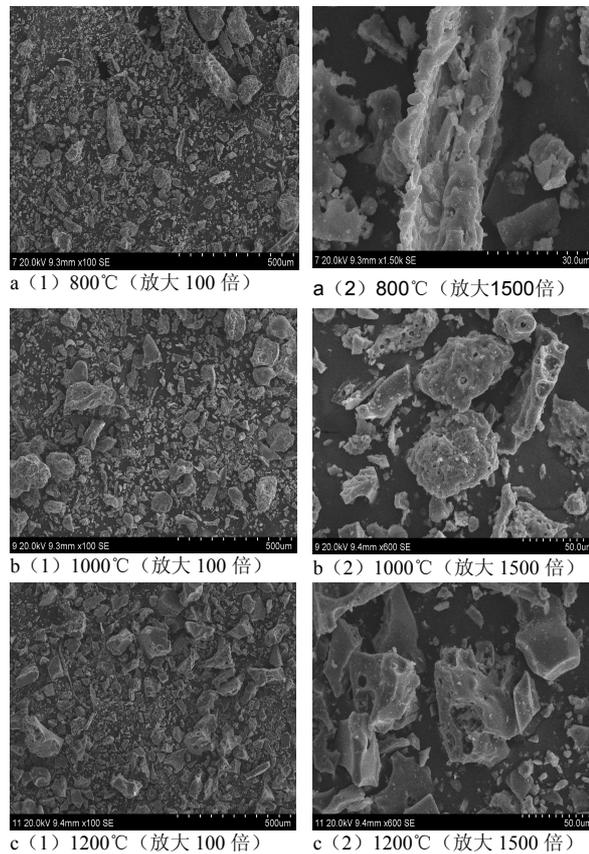


图7 水稻占50%时不同燃烧温度下灰样SEM图

水稻占混合燃料50%时不同燃烧温度下灰样SEM图可以看出，随着燃烧温度的逐渐升高，灰样中的大块棒状和块状物质越来越少，灰样表面趋向光滑，说明熔融程度加深。通过图7中 a2, b2, c2的对比可以发现，晶相的形貌发生显著变化。这是因为随温度升高，低温时生成的碱金属盐反应生成复杂非晶混合物，使灰渣表面更趋于平滑，熔融程度加深^{[9][10]}。

观察图8可以看出不同温度下灰的晶相衍射峰位置和程度变化明显，低温灰渣中以硅铝酸盐和石英为主，而高温灰中主要晶体是石英，并含有少量的KCl晶体，这主要是因为高温时许多元素以非晶形式存在，或者晶体被包围在非晶中XRD测不出^{[11][12]}。因此可以得出，温度对于一定混合比例的秸秆与煤混合物灰成分影响显著。

4 结论

本文主要从微观角度分析了灰渣的熔融性、灰渣晶相及形貌的变化，可以得到以下结论：

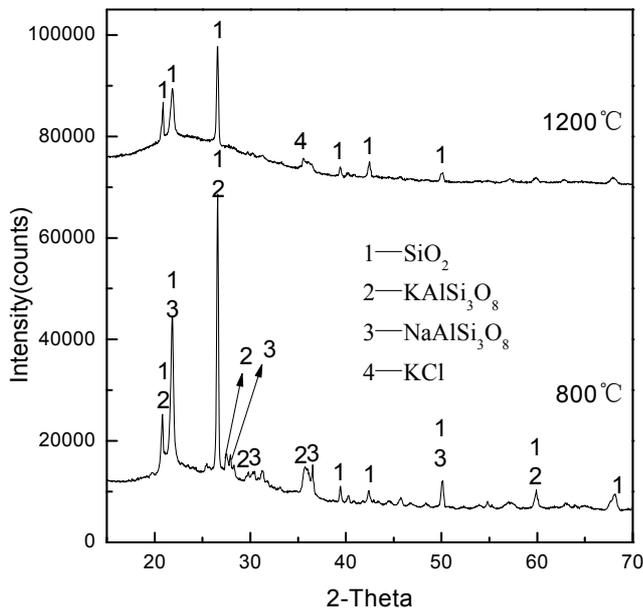


图 8 不同温度相同水稻秸秆含量 (50%) XRD 谱图

1. 在燃烧温度一定的情况下,随着水稻秸秆占混合燃料比例的增加,灰熔融趋势越明显,这是因为水稻中碱金属 K、Na 含量的升高引起灰熔点的降低,结渣程度加深。

2. 不同温度对于一定混合比例的秸秆与煤混合物灰成分影响显著,随温度升高,晶体减少非晶体增多,高温时晶体以石英为主。

因此,可以认为生物质含量和温度是影响混燃中积灰结渣过程积灰特性的重要因素。

References (参考文献)

- [1] Yishui Tian, Xiangjun Yao, Handbook of biomass combustion and Co-firing[M].Beijing,Chemical田宜水, 姚向君. 生物质燃烧与混合燃烧技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [2] MA Peiyong, TANG Zhiguo, LIN Qizhao. Research on an approach to high temperature flameless combustion technology of biomass[A]. International conference on power Engineering[C]. Hangzhou, China. 2007,1094-1098.
- [3] Cheng shu ren, liu liang. Summaries for Biologic Matter and Coal Mix-burning[J]. SCI/TECH INFORMATION DEVELOPMENT & ECONOMY. 2009, 19(11): 140-142.程树仁, 刘亮. 生物质与煤混燃研究分析[J]. 科技情报开发与经济, 2009, 19(11): 140-142.
- [4] J r J. J. B. , Hughes E. E. and Tillman D. A. Biomass co2 firing at Seward Station [J]. Biomass and Bioenergy,2000, 19 (6) : 419 - 427.
- [5] Tillman D. A. Biomass cofiring: the technology, the experience, the combustion consequences [J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 19 (6) : 365 - 384.
- [6] [Hus P. J. and Tillman D. A. Cofiring multiple opportunity fuels with coal at Bailly Generating Station [J]. Biomass and Bioenergy, 2000, 19 (6) : 385 - 394.
- [8] J4 rvinen T. and Alakangas E. Cofiring of biomass - evaluation of fuel procurement and handling in selected existing plants and exchange of information [M]. Finland: VTT Energy, 2001.
- [10] Nikolaisen L. Straw for Energy Production Technology -Environment - Economy [M]. Denmark: The Center for Biomass Technology, 1998.
- [11] Liu hao, qiu jian rong, dong xuewen, etc. Experimental Research on Co-combustion of Biomass and Coal. [J]. Journal of Combustion Science and Technology,2002, 8 (4) : 319 - 322.
- [12] 刘家,邱建荣,董学文,等. 生物质和煤混合燃烧实验[J]. 燃烧科学与技术, 2002, 8 (4) : 319 - 322.