

生物质成型燃料流化床燃烧粘结机理实验研究

宁新宇^{1,2}, 李诗媛¹, 吕清刚¹, 矫维红¹

(1.中国科学院工程热物理研究所, 2.中国科学院研究生院)

摘要: 在小型鼓泡流化床实验装置上, 以石英砂为床料, 进行了不同温度下果木枝条成型燃料流化床燃烧床料粘结机理实验研究。试验结果表明, 温度是影响生物质流化床燃烧床料粘结的重要因素。通过对实验中形成的结团进行扫描电子显微镜、X射线能谱 (SEM/EDX) 以及对床料的X射线荧光光谱 (XRF) 分析表明, 床料中碱金属元素的含量不能作为判断床料是否将要发生粘结的依据, 而是取决于碱金属的存在形态; 同时果木枝条灰中的Ca是构成结团颗粒粘附物的重要组分, 其对床层发生结团有一定的影响作用。

与常规燃料煤相比, 生物质具有其特殊的性质。大部分农业生物质和部分林业生物质中K、Na等碱金属元素以及碱土金属元素Ca、Mg等的含量远远高于煤中的含量^[1,2]。

生物质中的K元素以离子形态或者有机金属化合物形态存在^[3]

。生物质在流化床燃烧过程中, 温度是影响其结团发生的重要因素^[4-6]

, 这主要是由于含碱金属的化合物在流化床高温焚烧过程中容易形成低熔点的盐类, 这些碱金属盐类在高温下处于熔融状态, 易粘附在炉膛壁面上形成结团; 同时处于熔融状态的碱金属盐类, 容易粘附在流化床的床料颗粒表面, 同床料颗粒中的SiO₂

反应生成低熔点的共晶化合物, 造成床料颗粒的进一步粘结, 最后导致床层发生大面积结团, 并且不同的生物质发生结团的温度也存在差异^[6]。

本文针对果木枝条成型燃料, 在流化床实验装置上进行不同温度下床料粘结特性实验, 通过扫描电子显微镜、X射线能谱以及X射线荧光光谱等分析手段, 进行生物质流化床燃烧粘结机理研究。

1 实验

1.1 实验物料

实验以苹果的枝条成型颗粒为燃料, 成型颗粒的直径为6mm, 平均长度为15mm, 实验样品的燃料特性分析结果见表1。实验采用的床料为石英砂, 床料粒径范围为0.20~0.355mm。其中, 石英砂和果木枝条灰的特性分析见表2。

表 1 果木枝条的燃料特性分析

工业分析/wt%ad				工业分析/wt%ad				低位热值	
水分	灰分	挥发分	固定碳	碳	氢	氮	硫	氧	/MJ·kg ⁻¹
1.30	3.30	76.57	18.83	47.53	5.78	0.76	0.08	41.25	17.86

表 2 果木枝条灰、石英砂的特性分析

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O
果木枝条	16.82	4.42	3.48	34.16	7.01	0.19	4.10	8.99	11.22	4.48
石英砂	99.02	0.47	0.23	0.06	-	0.02	0.09	-	0.05	-

注: “-”表示未检出。

1.2 实验设备与实验方法

实验装置由炉体、电加热炉、螺旋给料机以及空气压缩机等组成，见图1。炉体下部内径为120mm、高500mm，上部内径为200mm、高450mm。

实验的工况温度分别为750、800和850；在实验过程中，保持螺旋给料机连续稳定地给料，同时通过炉膛顶部设置的观察窗不间断地观察流化床中床料的流化状态，识别床料发生大面积结团、停止流化的时刻；试验结束后，取出床料，对床料做粒径分析和XRF分析，对结团做SEM/EDX。

2实验结果与分析

2.1温度对床料粘结的影响

在750下，实验台正常运行了1082min，床层没有发生大面积结团，但在实验后的床料中观察到有结团颗粒，其形态同果木枝条成型颗粒相似[7]，并且结构致密，硬度较大，见图2。在800和850工况条件下，实验台分别运行了15min和1min后，床层都发生了大面积结团，床层温度急剧升高，床料完全停止流化。在两次实验后的床料中发现的结团中，都观察到有内部中空的结团颗粒，并且这些结团颗粒的结构比较松散，硬度较小，见图3、图4。实验现象表明，随着燃烧温度的升高，流化床保持正常流化的时间减少。

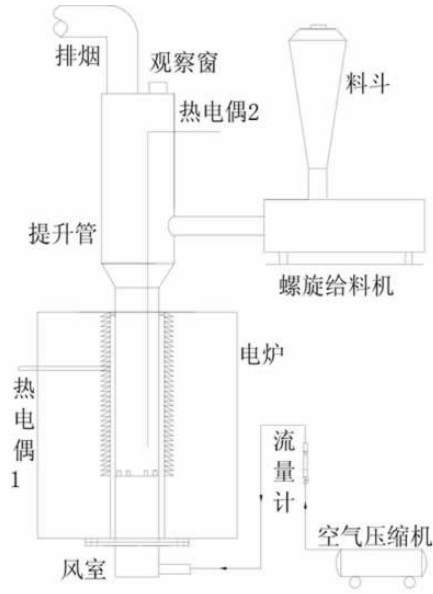


图 1 实验装置示意图

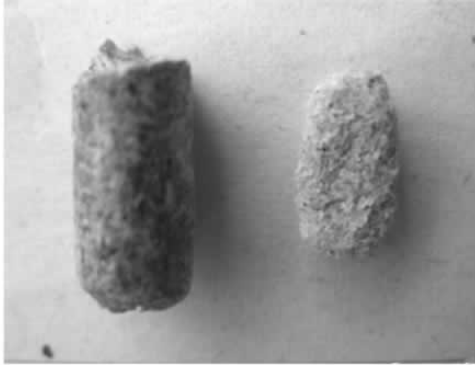


图 2 750 °C 实验后床料结团与果木枝条成型颗粒

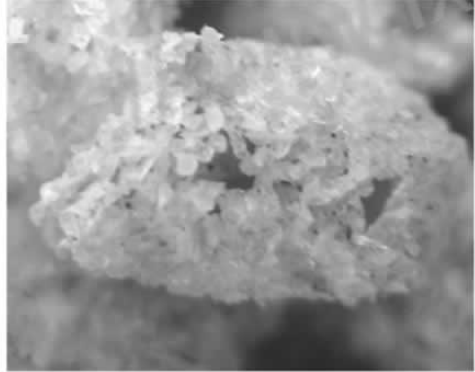


图 3 800 °C 实验后的结团



图 4 850 °C 实验后的结团

不同温度下实验后床料质量增加比例和床料的XRF分析见图5和表3，从中可以得出，随着温度的升高，保持正常流化时间减少，床料中生物质灰所占比例相应减小，同时床料中碱金属元素K，碱土金属元素Ca、Mg含量减少，然而实验中却随温度

升高床料发生粘结的程度呈增大

的趋势。由此可见，温度是影响床料结团的重要因素^[4,8]

。床料中生物质灰含量的高低不是决定床层发生大面积结团的决定因素，而与碱金属元素存在的形态直接相关。

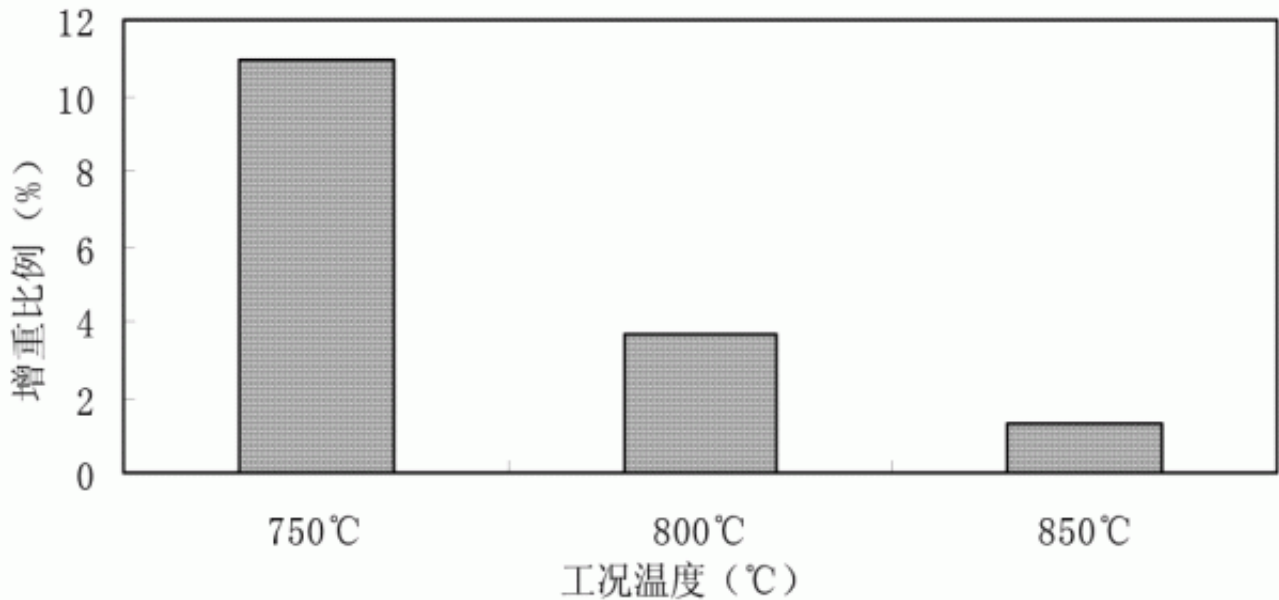


图 5 各工况实验后床料增重量

表 3 实验后床料的 XRF 分析 (wt %)

元素	750 °C	800 °C	850 °C
O	55.6938	59.0256	59.7044
Si	31.0775	33.8062	36.902
C	3.5037	2.9948	2.6061
K	1.9781	0.8058	0.1683
Mg	1.293	0.2341	0.0683
Al	0.3113	0.8397	0.0512
Ca	3.6029	1.3036	0.2194
Fe	-	0.3624	0.121
S	0.1799	-	-

注：“-”表示未检出。

对各工况实验后床料的粒径进行分析，见图6；从图中可以观察到，在0.355mm以下粒径范围，850 工况的床料占实验后总床料的比例最大，800 工况的其次，750 工况的最小；而在0.355mm以上粒径范围，情况却相反，其原因是生物质灰同床料在高温下作用形成结团，并且随着生物质灰在床料中的不断积累（见图5），使床料粒径不断增大。

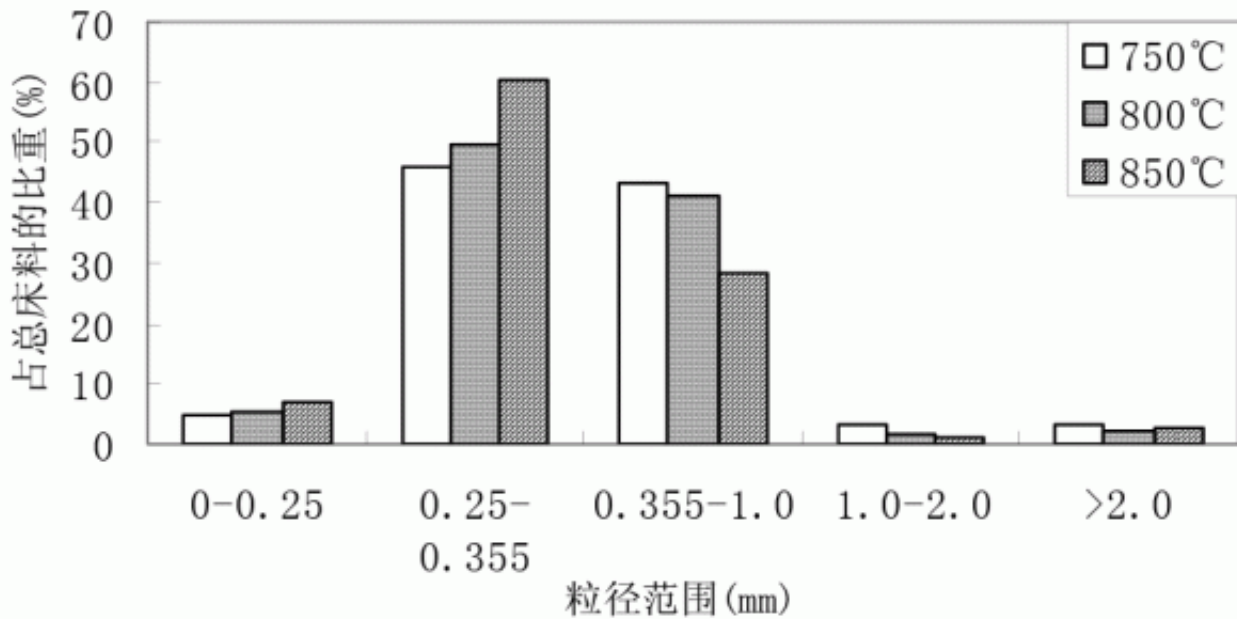


图 6 实验后床料的粒径分布

2.2结团的SEM/EDX分析

对750、800和850工况下实验后出现的结团颗粒进行SEM/EDX分析，见图7~图9。从各个工况的SEM照片来分析，形成结团的床料颗粒棱角分明，颗粒表面没有出现熔融的迹象，只是在颗粒之间形成了一定的絮状物将颗粒粘结在一起。EDX分析结果表明，将床料颗粒粘附起来的物质中含有K、Si、Ca、Fe、Mg以及Al等。据此分析形成结团颗粒的原因是生物质灰与床料颗粒发生作用的过程中，生物质灰中的含碱金属氧物质与床料中的硅化物发生反应，形成低熔点的共熔物，其反应式如下^[4,9,10]



方程式中X代表K、Na等碱金属元素，当n为3、4时，其熔融温度在800以下，这些熔融物在床料颗粒的不断碰撞接触中，在不同的床料颗粒表面传递，当这些化合物积累到一定程度时，使粘附颗粒的力大于破坏力，床料中的颗粒就会粘附在一起形成结团^[4,5]。

根据不同温度下实验后的EDX分析，床料颗粒之间的粘结物质中Ca元素的含量较高。有关文献显示，碱土金属元素Ca对于床层的结团具有抑制作用^[10,11]

；但是当Ca在灰中超过一定含量时，也将会促进床料发生粘结^[8,12]。因此实验中高含量的Ca对床料粘结可能起到促进作用，但是还有待深入研究。

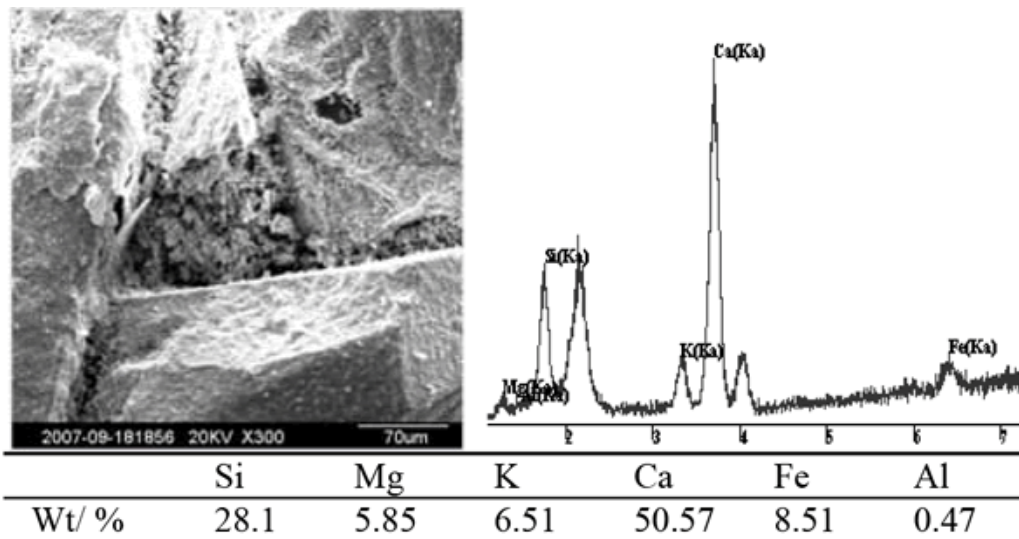


图 7 750 °C 工况下结团的 SEM/EDX 分析结果

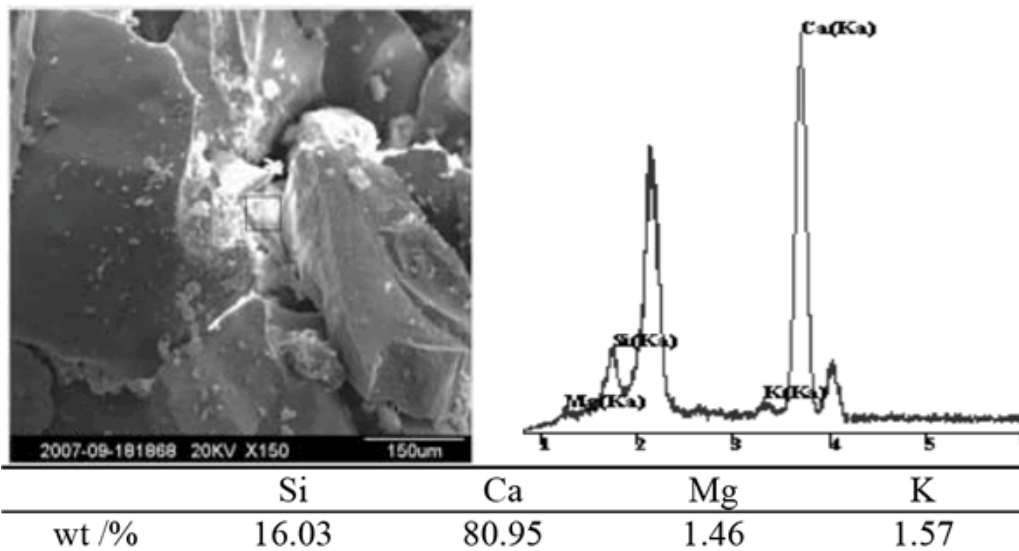


图 8 800 °C 工况下结团的 SEM/EDX 分析结果

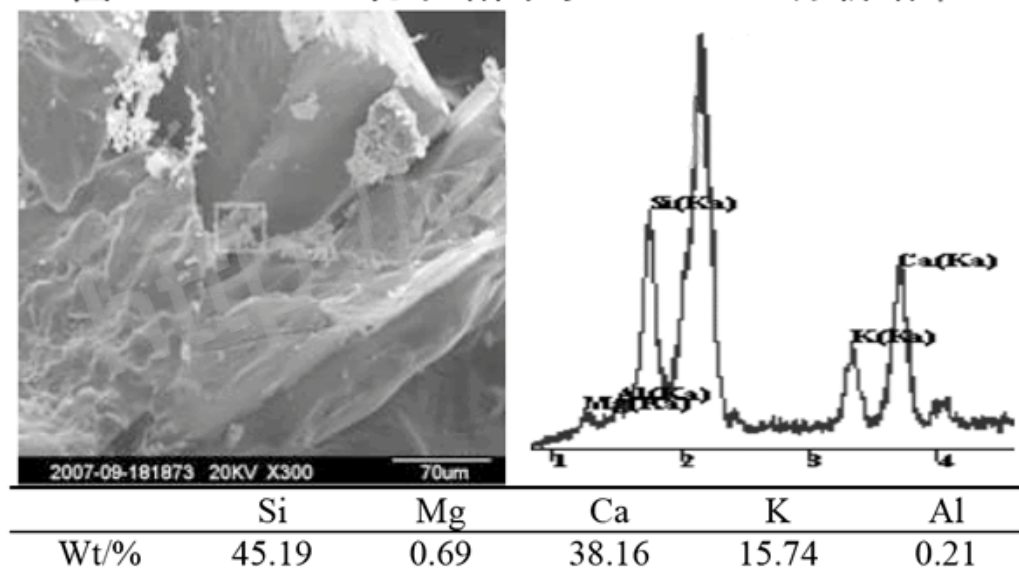


图 9 850 °C 工况下结团的 SEM/EDX 分析结果

3小结

- (1)随着床层温度的升高，床层发生结团的时间明显减小；温度是影响生物质流化床燃烧床料粘结的重要因素。
- (2)床料中碱金属元素的含量不能作为判断床料是否将要发生粘结的依据，床料是否粘结取决于碱金属的存在形态。
- (3)碱土金属元素Ca是构成结团粘结物的重要组分，其对床层发生结团现象具有一定影响。

参考文献

- [1]Liao C , Wu C , Yan Y , et al.Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China[J].Biomass and Bioenergy , 2004 , 27 : 119 ~ 130.
- [2]阎维平 , 陈吟颖.生物质混合物与煤共热解的协同特性[J].中国电机工程学报 , 2007 , 27(2) : 80 ~ 86.
- [3]Tran K , lisa K , Hagstr ö m M , et al.On the application of surface ionization detector for the study of alkali capture by kaolin in a fixed bed reactor[J].Fuel , 2004 , 83 : 807 ~ 812.
- [4]Lin Weigang , Dam-Johansen Kim , Frandsen Flemming.Agglomeration in Bio-fuel fired fluidized bed combustors[J].Chemical Engineering Journal , 2003 , 96 : 171 ~ 185.
- [5]Lin Chiou-Liang , Wey Ming-Yen.The effect mineral composition of waste and operating condition on particle agglomeration/defluidization during incineration[J].Fuel , 2004 , 83 : 2335 ~ 2343.
- [6]杨励丹 , 李海军 , 鲍亦令 , 等.生物质在流化床中燃烧时的烧结现象[J].新能源 , 1997 , 19(8) : 13 ~ 17.
- [7]Chirone Riccardo , Miccio Francesco , Scala Fabrizio.Mechanism and prediction of bed agglomeration during fluidized bed combustion of a biomass fuel : Effect of the reactor scale[J].Chemical engineering journal , 2006 , 123 : 71 ~ 80.
- [8]Olofsson G ran , Ye Zhicheng , Bjerle Ingemar , et al.Bed agglomeration problems in fluidized-bed biomass combustion[J].Ind.Eng.Chem.Res , 2002 , 41(12) : 2888 ~ 2894.
- [9]Olanders Birgitta , Steenari Britt-marie.Characterization of ashes from wood and straw[J].Biomass and Bioenergy , 1995 , 8 : 105 ~ 115.
- [10]Acharya Prakash.Process challenges and evaluation of bed agglomeration in a circulating bed combustion system incinerating red water[J].Environmental process , 1997 , 16(1) : 54 ~ 64.
- [11]B M Steenari , O Lindqvist.High-temperature reaction of straw ash and the anti-sintering additives kaolin and dolomite[J].Biomass and Bioenergy , 1998 , 14(1) : 67 ~ 76.
- [12]Vuthaluru H B , Linjewile T M , Zhang Dong-ke , et al.Investigations into the control of agglomeration and defluidisation during fluidized-bed combustion of low-rank coals[J].Fuel , 1999 , 78 : 419 ~ 425.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/116614.html>