

生物质及其与惰性颗粒双组分体系的流化特性

吴桂英¹, 杜爱月¹, 张锴^{1, 2, 3}, 蒋剑春³

(1.中国石油大学重质油国家重点实验室,北京102249;2.华北电力大学生物质发电成套设备国家工程实验室,北京1 02206;3.中国林业科学研究院林产化学工业研究所,江苏南京210042)

摘要:采用MDMDY-300型全自动密度仪和体积法测量了生物质和3种惰性颗粒的颗粒密度和堆密度,在有机玻璃 流化床内考察了生物质单组分及其与3种惰性颗粒双组分体系的最小流化空隙率和流化速度。结果表明,单组分颗粒 密度随粒径的变化可以忽略,而堆密度却随粒径的增大有所减小;双组分体系的最小流化空隙率随细颗粒组分增加而 出现先减小后增大的趋势,最小值出现在细颗粒组分体积分数为30%左右,且颗粒粒径差异越大变化趋势越明显;双 组分体系的起始流化速度、最小流化速度和完全流化速度均随细颗粒组分含量增加呈现减小的趋势,当细颗粒体积分 数达到30%左右后起始流化速度的下降趋势趋于平缓。

生物质与传统化石燃料具有很大的兼容性,是唯一可直接转换为含碳化合物的可再生资源。据国际能源署预测,生物质未来的主要用途之一是用来合成清洁液体燃料^[1]

。我国《可再生能源中长期发展规划》指出,目前我国生物质资源可转换为能源的潜力约5亿吨标准煤,今后的潜力 可达10亿吨标准煤,因此合理利用生物质资源对缓解我国油气资源短缺具有重要的意义。生物质快速热解是在缺氧状 态下迅速受热分解,并经快速冷凝后获得液体产物(生物油)的热化学转化过程。生物油既可以作为锅炉和窑炉燃料直 接燃烧,也可以经精制提炼后作为车用燃料或化工原料。自20世纪80年代以来,国际上已开发了旋转锥、鼓泡流化床 、循环流化床和气流床等多种热解反应器^[2-8]

。其中流化床反应器凭借其混合特性良好、传热效率高和操作弹性宽等优点而受到加拿大Dynamotive Energy Systems和Ensyn TechnologiesInc等产业界的关注。在实际操作过程中,往往通过加入惰性颗粒以改善床层流化质量和 强化过程传热。然而,有关生物质流化床快速热解气 化的研究中^[2-9]

尚缺乏针对生物质与惰性颗粒双组分的基础流态化特性数据。为此,本文作者以菜籽这一典型生物质热解原料为研究 对象,考察了其不同粒径范围的最小流化速度,进而比较了树脂、石英砂和玻璃珠等3种颗粒加入后对其最小流化速 度的影响规律,以期为生物质流化床快速热解技术的工程应用提供基础数据。

1实验

实验采用菜籽、树脂、石英砂和玻璃珠4种固体颗粒。经筛分后获得不同粒径,颗粒密度和堆密度分别采用广东中山美迪分析仪器厂生产的MDMDY-300型全自动密度仪和经典的体积法测量。





图 1 实验装置流程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

如图1所示,实验在一内径为0.166m和高为2m的有机玻璃流化床中进行,在床的一侧贴有坐标纸以读取床层高度; 另一侧与U形管压力计相连,用于测量不同床层高度的压力。流化床底部装有孔径为30µm的不锈钢烧结板气体分布 器,分布器下部与气室相连,在气室上部设有装满大颗粒的预分布区以保证气体分布均匀。空气首先经压缩机压缩, 然后由转子流量计计量后进入流化床下部的气室。所有实验均在常温、常压下完成。实验时,先将一定量的物料加入 到流化床中,再启动压缩机通入流化气体,并在较高气速下,保持流量不变约5min以使床层处于完全混合状态。然后 利用降速法对单组分及双组分体系的最小流化速度进行具体实验研究。

2结果与讨论

2.1颗粒密度

从表1中可以看出,对于单组分而言,堆密度随颗粒粒径的增大有所减小,其原因是颗粒粒径增大,颗粒群的堆放 将更为松散,空隙率增大使得堆密度减小;颗粒密度随颗粒粒径的增大略有减小,其原因可以归结为粒径增大后,颗 粒内孔存在的几率就会增加,导致颗粒密度略减小,但相对偏差小于2.6%,因此在工程范围内可以忽略。

在上述单组分颗粒密度测量的基础上,进一步考察了双组分的颗粒密度。前人已给出了不同的混合物平均颗粒密度 计算方法,其中Goossens等^[10]

提出的比表面平均物性法则被许多研究者所采用^[11-12]

,该方法假设两种颗粒物料组成一个完全均一的混合物床层,具体计算公式如下:

 $1 = x_1 + x_2$

(1)

 $\rho_p \quad \rho_{p_1} \quad \rho_{p_2}$

式中:ρ, 一颗粒密度 , kg/m³; x一单组分体积分数 ; 下标 1、2 代表不同组分 。

从图2可以看出,以菜籽1和树脂2在不同配比的双组分体系的颗粒密度为例,除了在树脂2的体积分数为0.5%左右时测量值和预测值的最大偏差约为2.8%外,本实验测量值与Goossens等^[10]关联式的预测值基本一致。



班接:新能源网 china-nengyuan.com

表 1 单组分颗粒物性

Table 1 Physical properties of monocomponent particles

颗粒 particle	粒径范围 /mm size nange	密度 dens 堆密度 bulk density	ity/(kg·m ^{·3}) 颗粒密度 particle density
菜籽 1 rapeseed-1	1. 45~1. 60	594.8	1105
菜籽 2 rapeseed-2	1. 60~2. 00	583. 0	1100
树脂 1 resin-1	0.56~0.60	813. 7	1448
树脂 2 resin-2	0. 63~0. 71	801. 7	1427
树脂 3 resin-3	0.80~0.90	783. 7	1410
玻璃珠 glass bead	0. 25~0. 30	1382.7	2440
石英砂 1 sand-1	0. 20~0. 22	1272. 7	2663
石英砂 2 sand-2	0. 25~0. 30	1258.8	2662
2.2含生物质双组分体系的流化特征			

采用Martin等^[13]

定义的混合物中粗细颗粒组分平均粒径之比n来探索惰性颗粒对生物质流化质量的影响。这里粗颗粒组分是指菜籽1, 细颗粒组分选取玻璃珠或树脂2。从图3所示的双组分体系最小流化空隙率随细颗粒体积分数的变化曲线可以看出,随 着双组分体系中细颗粒组分体积分数的增加,引起双组分体系中两组分填充方式的变化,使得双组分体系的空隙率出 现了先减小后增大的趋势。当双组分体系中细颗粒组分体积分数较小时,粗颗粒组分为连续相,这时双组分体系中的 细颗粒不足以填满粗颗粒间隙。随着双组分体系中细颗粒组分体积分数的增加,双组分体系中的细颗粒逐渐填满粗颗 粒空隙,于是双组分体系空隙率逐渐减小;当细颗粒完全充满粗颗粒的间隙时,双组分体系的空隙率达到最小值;随 着细颗粒组分体积分数的进一步增加,双组分体系中的粗颗粒将分散在细颗粒中间,此时,双组分体系空隙率主要由 细颗粒决定,呈现出逐渐增大的趋势。且n值越大变化趋势越明显,最小值出现在细颗粒组分体积分数为30%左右, 该结论与Martin等[13]在液固搅拌釜内的实验结果基本一致。



图 2 双组分体系颗粒密度测量值与 预测值的比较图

Fig 2 M casured and predicted values of particle

densities of bircomponent system :物质最小流化速度



图 3 双组分最小流化空隙率随细颗粒 体积分数变化图

Fig. 3 M in imum fluidization voidage of bi-component system with volume fraction of fine particle

2.3生物质最小流化速度

为了考察不同粒径菜籽的最小流化速度,本研究首先对菜籽1和菜籽2单组分的最小流化速度进行了测定。由图4压 降随气速变化曲线可以得出,菜籽1和菜籽2的最小流化速度分别为0.522和0.572m/s。

进而对菜籽1和菜籽2体积配比为1 1和1 2时的双组分最小流化速度进行了测量。由图5可以发现菜籽1和菜籽2体 积配比为1 1和1 2时的最小流化速度分别为0.525和0.542m/s,介于两个单组分菜籽的最小流化速度0.522和0.572m/s 之间,且随着大颗粒配比的增大而增大。





a. 菜籽1 rapeseed-1; b. 菜籽2 rapeseed-2







h. 菜籽1与菜籽2体积比为 1:2 volume fraction of rapeseed-1 to rapeseed-2 is 1:2

图 5 双组分菜籽体系流化特性曲线



2.4等密度/不等粒径双组分体系的流化速度

由于菜籽本身粒径分布范围相对较窄,故等密度/不等粒径体系实验物料采用树脂代替菜籽,其中树脂1作为改善流 化质量的细颗粒组分。





a. 整体图 overall figure; b. 局部放大图 magnified figure

图 6 等密度 /不等粒径双组分体系的流化特性曲线

Fig. 6 Fluidization curves for bicomponent system with equal density and unequal size

以图6所示的树脂1和树脂3在体积比为2 5下的流化曲线为例,整个过程明显分为3个阶段,即:1)在低气速时,床 层为固定床;当气速达到起始流化速度时,双组分体系中细颗粒最先开始流化,粗颗粒仍然沉积在床层底部,在一定 程度上充当分布器的角色;2)逐渐增加气速,床层出现轻微膨胀,细颗粒向上浮升,使得床层上部处于流化状态,粗 颗粒向床底沉积,在床层中部,处于流化状态的小颗粒夹带着大颗粒运动,为混合床层;3)进一步增大气速时,压降 不随气速的变化而变化,双组分体系处于完全混合状态。由局部放大图6(b)可以获得该体系的起始流化速度(uif,m/s) 、最小流化速度(umf

, m/s)和完全流化速度(uff, m/s)分别为0.

190、0.215和0.254m/s。采用罗国华^[14]

的分区概念,即:uif线以下区域为固定床,uif及uff两曲线之间为分离流化床,而uff线以上区域为完全流化床。





- 图 7 等密度 不等粒径双组分体系流化速 度随细颗粒体积分数的变化图
- Fig. 7 Effect of fine particle volume fraction on fluidization velocity in bicomponent system with equal density and unequal size

从图7所示的双组分不同配比对3种流化速度影响情况来看,起始流化速度随着细颗粒比例在30%以内显著下降,随 后下降幅度却非常小,而最小流化速度和完全流化速度却随细颗粒体积分数的增加呈逐渐下降的趋势。

2.5不等密度/不等粒径双组分体系的流化速度



为了考察惰性颗粒对生物质最小流化速度的影响,实验考察了菜籽1与树脂2及石英砂2不同配比组成的双组分体系的uif、umf和uff。从图8可以发现,与2.4节相类似,不等密度/不等粒径双组分体系随着惰性颗粒(细颗粒)组分含量的增加,双组分体系起始流化速度、最小流化速度、完全流化速度均有所减小,且细颗粒体积分数达到30%左右后起始流化速度的下降趋势趋于平缓。



a. 菜籽1与树脂2 rapeseed-1 and resin-2; b. 菜籽1与石英砂2 rapeseed-1 and sand-2



Fig. 8 Effect of fine particle volume fraction on fluidization velocity in bi-component system with unequal density and unequal size

3结论

采用MDMDY-300型全自动密度仪和体积法测量了生物质和3种惰性颗粒的颗粒密度和堆密度,在有机玻璃流化床 内考察了生物质单组分及其与3种惰性颗粒双组分体系的最小流化空隙率和流化速度。

3.1对于单组分体系,其颗粒密度随粒径变化几乎不变,而堆密度却随粒径的增大有所减小;对于双组分体系,在本实验范围内可以用Goossens的平均物性计算公式求解混合物料的颗粒密度。

3.2惰性颗粒引入后,双组分体系的最小空隙率随细颗粒组分的增加出现先减小后增大的趋势,其最小值出现在细颗粒组分体积分数为30%左右,且颗粒差异越大,变化趋势越明显。

3.3双组分体系的起始流化速度、最小流化速度、完全流化速度随细颗粒组分含量增加呈减小趋势,当细颗粒体积分数达到30%左右后起始流化速度的下降趋势趋于平缓。

参考文献:

[1]AUSILIO B, GORANB, MARTIN J, et al. Bioenergy — a sustainable and reliable energy source, a review ofstatus and prospects[R].IEA Bioenergy: ExCo: 2009: 06.

[2]CZERN IK S, BR IDGWATER A V.Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil[J].Energy & Fuels, 2004, 18: 590-598.

[3]BABU B V.Biomass pyrolysis: A state-of-the-artreview[J].Biofuels, Bioproducts & Biorefining, 2008, 2(5): 393-414.

[4] DENG CJ , L IU R H , CAIJ M.State ofart of biomass fast pyrolysis for bio-oil in China : A review[J].Journal of the Energy Institute , 2008 , 81(4) : 211-217.

[5] DEMIRBASM F, BALATM.Biomass pyrolysis for liquid fuels and chemicals : A review[J].Journalof Scientific & Industrial Research, 2007, 66 : 797-804.

[6] DESISTO W J , HILLIIN , BEIS S H , et al. Fastpyrolysisofpine sawdust in a fluidized-bed reactor[J]. Energy &



Fuels , 2010 , 24 : 2642-2651.

[7]郑志锋,蒋剑春,戴伟娣,等.生物质能源转换技术与应用()——生物质热解液体燃料油制备和精制技术[J]. 生物质化学工程,2007,41(5):67-77.

[8]林木森,蒋剑春.生物质快速热解技术现状[J].生物质化学工程,2006,40(1):21-26.

[9]刘宝亮,蒋剑春,岳金方,等.冷态鼓泡流化床中木屑流化速度的研究[J].林产化学与工业,2007,27(3):49-52.

[10]GOOSSENSW R A, DUNMONT GL, SPAEPEN GL.Fluidization of binarymixturesin thelaminar flow region[C].Chem Eng Prog Symp, 1971, 67: 38-45.

[11]ZHANG JY, LUOGH, PENG H.Particle segregation of a binary mixture in gasfluidized bed, FLUID IZATION '94 science and technology[C].Conference Paper of 5th China-Japan Symposium, ChemicalIndustryPress, Beijing, China, 1994: 15-22.

[12]ZHANG K, ZHANGJ, ZHANGB.Experimental and numerical studyof fluid dynamic parameters in ajetting fluidized bed of a binarymixture[J].Powder Technology, 2003, 132: 30-38.

[13] MARTIN M , RENAULYM , JEZEQUEL P , et al. Mixability and particle size distribution criteria-study on modelmaterials[J]. Powder Tech-nology , 2009 , 190 : 36-40.

[14]罗国华.气固流化床中颗粒分离及射流流动特定的研究[D].山西:中国科学研究院煤化所博士学位论文,1996.

原文地址: http://www.china-nengyuan.com/tech/120125.html