

燃生物废料流化床锅炉

别如山, 李炳熙, 陆慧林, 杨励丹

(哈尔滨工业大学, 黑龙江哈尔滨150001)

摘要: 介绍了国内外生物质燃料开发与利用现状, 燃生物废料锅炉炉型的选择以及生物废料在流化床中燃烧存在的烧结问题及解决措施。还介绍哈尔滨工业大学研制的一系列燃生物废料流化床锅炉及其运行结果。

1 前言

生物质能在世界能源结构中占有十分重要的地位。据统计, 每年经过光合作用固定下来的生物质能约是全世界能源消耗的10倍。但目前被人们利用的

仅占1.0%。估计世界大陆上生物质的年产量为 $10^{11} \sim 10^{12}$

吨干物质。我国几种主要的生物质的产量也相当可观, 据统计, 仅农作物的秸秆每年约为5~6亿吨, 折合标准煤约2~2.4亿吨, 其中60%用于生活需要烧掉。森林每年可提供9000万吨薪柴, 但年实际开发量约为1.8亿吨。据1989年统计, 用于生活需要烧掉2.78亿吨薪柴。林业加工过程生产的边角废料每年约为2400万立方米, 折合标准煤150万吨。稻谷年产量约200兆吨, 可获得稻壳约40兆吨, 折合标准煤约20兆吨。我国居民仅维持日常生活用能, 每年就需要6亿吨标准煤, 占全国能耗的30%, 而这些能源的80%左右是由生物质能提供的。此外, 生物质能可年复一年的不断再生, 因此其能量是十分可观的。开发利用生物质能具有广阔的前景。

生物质能的利用之所以受到世界各国的高度重视, 还因为生物质是一种清洁燃料。生物质含硫量低, 含氮量不高, 所以燃烧后硫氧化物和氮氧化物的含量很低; 生物质中灰分一般也很小, 所以充分燃烧后烟尘含量极低。现在世界每年二氧化碳排放量为55亿吨, 导致明显的温室效应。生物质燃烧过程具有二氧化碳零排放的特点, 因为生物质燃烧生成的二氧化碳又可被植物吸收, 合成本身的生物质, 所以没有增加大气中二氧化碳的含量。这对于缓解日益严重的温室效应有着特殊的意义。

从我国目前利用生物质能的状况看, 由于直接燃烧生物质能占相当的比重, 但燃烧设备落后, 热效率很低。如农用柴灶热效率一般为10%~20%, 先进的省柴炉灶热效率也仅在30%左右; 现在以层燃方式燃生物质的锅炉数量很少, 热效率也很低; 生物质气化炉的气化率低, 所得的燃气热值不高。因此提高这些锅炉、炉具的燃烧效率、热效率以及提高气化炉的气化率及燃气热值是急待解决的关键技术问题。对于节约能源有着极为重要的意义。

流态化燃烧具有燃烧效率高、有害气体排放少、热容量大等一系列的优点, 很适合燃水分大、热值低的生物质燃料。因此, 西方发达国家已采用流化床燃烧技术利用生物质能。美国、瑞典、德国、丹麦等工业化国家生物质能利用技术已居世界领先地位。

国内也开始重视开发利用生物质能, 国家经贸委节约和综合利用司于1993年3月组团赴瑞典、德国就生物质能利用技术及设备进行技术考察; 我国农业部环能司、农业部国际合作司、山东省科学院能源所和福建省农村能源办公室组成考察组于1994年5~6月赴美考察美国的生物质能等可再生能源发电情况。表明国内对生物质能的开发利用非常重视。

2 国内外现状

美国目前开发利用生物质能主要通过直接燃烧生物质产生蒸汽、电力。生物质原料主要为采伐业的枝桠等废弃物、不成材的树木、造纸和木材加工的废弃物以及稻壳、甘蔗渣等。燃烧设备以引进德国的链条炉为主。在美国, 采用流化床燃烧技术利用生物质能也具有相当规模, 如美国爱达荷能源产品公司已生产出燃生物质媒体流化床锅炉, 蒸汽锅炉出力为4.5~50t/h, 供热锅炉出力为 $1.06 \times 10^7 \sim 1.32 \times 10^8$

kJ/h。80年代末至90年代初期, 美国利用流化床燃烧技术开发大型燃废木循环流化床发电锅炉。例如, 由美国CE公司利用鲁奇技术设计生产的两台循环流化床锅炉, 分别安装于Fresno和Rocklin, 出力为100t/h, 蒸汽压力为8.7MPa, 过热蒸汽温度515℃, 热功率78MW分别于1988、1989年投运; 另外两台热功率为71MW的循环流化床燃废木料锅炉装在Mecca于1992年投运。B&W公司也有燃木柴流化床锅炉在运行。目前美国已有近1000家燃木材电厂在运行, 装机容量达6500MW。

预计到2000年以前生物质能(废木、木屑、稻谷壳和甘蔗渣等可燃生物燃料)发电总装机容量达12000MW。

瑞典是高度发达的工业化国家，由于煤、石油资源贫乏，能源主要依赖进口石油。但瑞典森林资源丰富，森林覆盖率达58%，为了利用本国资源，减少石油进口，瑞典非常重视生物质能的开发利用。生物质能的利用量已占全国总能耗的16.1%，达到55亿kW·h，其中的相当部分就是将树枝、树叶、树皮、森林废弃物、锯屑和泥炭等削片、切碎，然后运送到热电厂，在大型流化床锅炉中燃烧而得以利用的。

尽管这些燃料的含水量有时高达50%~60%，但锅炉的热效率仍可达到80%。瑞典另一个利用生物质能的方式就是将生物质送入循环流化床气化炉进行气化，产生的燃气通过燃气轮机发电，采用联合循环。这样的系统热效率高，目前此种方式单机容量已达80MW。

丹麦为了减少二氧化碳的排放，计划每年燃烧700万吨干草，8万吨木屑，采用芬兰奥斯龙公司生产的高倍率循环流化床锅炉，将干草与煤以6:4的比例送入炉内燃烧。锅炉参数：出力为100t/h，蒸汽压力为90MPa，过热蒸汽温度490℃，热功率为80MW。

从我国目前利用生物质能的状况看，由于直接燃烧生物质能占相当的比重，但燃烧设备落后，热效率很低，造成生物质能源的极大浪费。国内部分锅炉制造厂家设计采用链条炉燃烧生物质废料，发现热效率低，出力不足，锅炉炉体大，炉排易烧坏。为此，哈尔滨工业大学从80年代末期开始研究采用流化床燃烧技术开发利用生物质能。已完成生物质媒体流化床流化特性的研究；提高燃烧效率的研究；燃生物质媒体流化床锅炉结构的研究；生物质气化燃气的热值、产率和生物质在流化床中气化产生烧结现象的研究以及生物废料燃气热力联产关键技术的研究。已和国内四个锅炉厂

家合

作，研制

开发了4、10、12.5

、14t/h燃稻谷壳、废木与木屑、甘

蔗渣及棕榈空果穗等生物废料流化床锅炉11台^[1]

。其中4台4t/h燃稻谷壳流化床锅炉、两台12.5t/h燃甘蔗渣流化床锅炉出口泰国；一台14t/h燃棕榈空果穗流化床锅炉于1997年出口马来西亚，一台4t/h燃木屑流化床锅炉于1998年出口非洲加纳，进入国际市场，深受用户好评。三台10t/h燃废木与木屑流化床锅炉在外资企业运行六年多来，一直满发、稳定、高效率，节约了大量能源，创造了很高的经济效益，用户十分满意，该炉于1995年获得国家专利，于1998年获得中国航天工业总公司部级科技进步二等奖。

3炉型的选择

生物质燃料的一般特点是水分很高、灰分很小、挥发份很高、发热值偏低。用粉状燃烧时，首先应将其制成粉末。由于生物废料是非脆性材料，磨制时易生成纤维团而不是粉状，而且需要预先干燥，而干燥高水分的生物质燃料要消耗大量的热。一般可切成碎片在煤粉、油或气体燃烧室内燃烧。这样使锅炉结构、燃料制备系统和锅炉运行复杂化，且不经济。

层燃锅炉属层状燃烧，生物质燃料通过给料斗送到炉排上时，不可能象煤那样均匀分布，容易在炉排上形成料层疏密不均，从而形成布风不匀。薄层处空气短路，不能用来充分燃烧；而厚层处，需要大量空气用于燃烧，由于这里阻力较大，因而空气量较燃烧所需的空气量为少，这种布风不均将不利于燃烧和燃尽。由于生物质的挥发份很高，在燃烧的开始阶段，挥发份大量析出，需要大量空气用于燃烧，如这时空气不足，可燃气体与空气混合不好将会造成气体不完全燃烧损失急剧增加。同时，由于生物质比较轻，容易被空气吹离床层而带出炉膛，这样造成固体不完全燃烧损失很大，因而燃烧效率很低。

另一方面当生物质燃料含水率很高时，水份蒸发需要大量热量，干燥及预热过程需时较长，所以，生物质燃料在床层表面很难着火，或着火推迟，不能及时燃尽，造成固体不完全燃烧损失很高，导致锅炉燃烧效率、热效率很低，实际运行的层燃炉热效率有的低达40%。另一方面，一旦它燃尽后，由于灰分很少，不能在炉排上形成一层灰，以保护后部的炉排不被过热，从而导致炉排被烧坏。采用流化床燃烧方式，密相区主要由媒体(河沙或石英沙)组成，生物燃料通过给料器送入密相区后，首先在密相区与大量媒体充分混合，密相区的惰性床料温度一般在850~950℃之间，具有很高的热容量，即使生物质含水率高达50%~60%，水份也能够被迅速蒸发掉，使燃料迅速着火燃烧。加上密相区内燃料与空气接触良好，扰动强烈，因而燃烧效率有显著提高。因此，流化床燃烧方式最适合含高水分生物废料的燃烧。

4烧结现象

目前生物废料在燃烧过程中，可能发生烧结现象。烧结与温度、流化风速和气氛有关，但温度是影响烧结的最主要

因素。稻草的烧结

温度在680 左右，玉米秆的烧结温度

在740 左右，高粱秆的烧结温度在680 [2]

。随着温度的升高，烧结块尺寸增大，数量增多，硬度增强。对于稻草，温度在700 以上，便出现烧结块阻塞的现象，高粱秆在760 以上出现阻塞，而玉米秆则在800 以上仍可保持较好的燃烧。

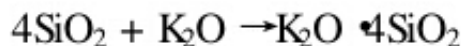
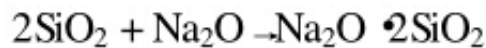
单纯的灰是不能起粘剂作用的。砂的熔点及灰熔点都高于1000 ，而实验及实际运行表明在700 就会发生烧结

。一般认为，出现这种

现象的原因是生物质灰中富含钾和钠，这些元

素的化合物与砂中的SiO₂

反应，生成低熔点的共晶体，熔化的晶体沿砂的缝隙流动，将砂粒粘结，形成结块，破坏流化。反应方程式如下：



另外

，参考煤烧结

产生的化学机理，认为灰的

酸、碱氧化物含量比是决定烧结温度的一个主要原因。

其中Al₂O₃对烧结的产生有抑制作用，Al₂O₃比SiO₂

更易与碱金属化合物反应，其产

物熔点高。因此，灰中铝元素含量高，则可减少SiO₂与碱金属发生反应的机会，避免烧结现象发生。

稻草灰中的钾、钠元素含量偏低，与上述原理不符。其烧结块结构也与上面两者不同，说明其形成的化学机理是不同的。稻草中碳转化率低的原因，认为与其高的SiO₂含量有关^[3]。在700 ~ 800 时，SiO₂ 体积构向面结构转化，在此过程中，碳原子成为填充原子，形成牢固的碳硅结合，即使在1200 ，也无法将其中的碳氧化^[4]。这种碳硅结合，使稻草灰连接在一起，形成蓬松的烧结块，破坏正常流化。

5防止烧结的对策

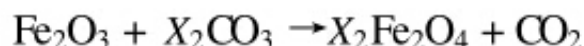
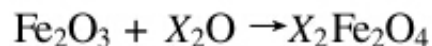
分析烧结形成原因是为了找出解决办法。一方面，从锅炉结构因素入手，合理布置燃烧系统及炉膛受热面，保证运行温度不过高，尤其注意控制稀相区的温度。另一方面，寻找适宜的惰性床料或添加剂以抑制低熔点共晶体的形成。

不同的元素对烧结的影响是不同的。因此可以选择富含抑制烧结元素的床料，提高了烧结发生的温度，以保证正常流化。

目前，以其价格低、易获得、且不易

烧结而成为主要供选择的替代床料有Al₂O₃、Fe₂O₃，尤其是Fe₂O₃比SiO₂、Al₂O₃

更易与碱金属氧化物、盐反应，反应式如下：



其中，X 为碱金属元素钾或钠

X₂Fe₂O₄

的熔点为1

135 ，远高于运行

温度，因此可防止烧结的产生，南斯拉

夫的BorislavD.Grubor等学者比较了SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃

三种物质做床料的效果。发现以SiO₂

为床料燃烧生物质时，在700 就出现烧结，80

0 时相当严重。而用 Fe_2O_3

做床料时，当灰中钾、钠总含

量超过20%，且床温在900 以上时，只有很小的结块， Al_2O_3

的效果则介于二者之间，在800 时出现烧结，900 时与 SiO_2 作床料，床温800 时的烧结一样严重[5]。在我们设计的燃生物废料流化床锅炉中，采取了适宜的措施，还没有用户反映床料烧结问题。

6运行结果

从80年代末期开始研究采用流化床燃烧技术开发利用生物质，先后与长春锅炉厂、长沙锅炉厂、营口锅炉总厂、天山锅炉厂研制开发燃甘蔗渣、稻壳、板厂废料和棕榈空果穗等生物废料流化床锅炉。

与长春锅炉厂合作研制的两台12.5t/h燃甘蔗渣锅炉经德国BAY公司销往泰国；与长沙锅炉厂合作研制的4台4t/h燃稻壳锅炉也已出口泰国，与营口锅炉总厂合作开发的4t/h燃板厂废料锅炉出口西非加纳；14t/h燃棕榈空果穗锅炉出口马来西亚，深受国外用户的好评。另外与营口锅炉总厂合作研制的三台10t/h燃废木与木屑流化床锅炉(设计参数为：锅炉蒸发量 $D=10t/h$ ；工作压力 $P=1.25MPa$ ；过热蒸汽温度 $t=350$ ；设计效率 $\eta=80.86\%$)，装在大连金州外资企业常荣、常盛合板有限公司。经测试，燃烧效率达99%，锅炉热效率达83%，这两个主要技术指标已达到国际先进水平。该锅炉是辽宁省科委火炬计划和辽宁省机械委新产品计划项目，于1995年12月荣获辽宁省优秀新产品银奖，填补了国内空白。1996年被国家经贸委列为国家级重点新产品试产计划。1998年获得中国航天工业总公司部级科技进步二等奖。

参考文献：

[1]别如山，鲍亦令，杨励丹，等.SHF10-1.25/350废木材流化床锅炉的研制[J].工业锅炉，1996，(4)：2-4.

[2]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)：13-16.

[3]Salour D， Jenkins B M， Vafaei M. et al.Control of in-bed agglomeration by fuel blending in a pilot scale straw and wood fueled AFBC[J].Biomass and Bionenergy， 1993， 4(2)： 117-133.

[4]Ganesh A， Grover P D. Lyer P V R. Combustion and gasification characteristics of rice husk[J].Fuel， 1992， 71(8)： 889-894.

[5]Grubor B D， Oka S N. Ilic MS. et al. Biomass FBC combustion-bed agglomeration problems[C]. Fluidized Bed Combustion， ASME 1995， 1(1)： 515-522.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/98737.html>