

## 工业锅炉生物质燃烧应用现状

**摘要：**介绍了工业锅炉中生物质燃料各种燃烧技术的技术特点和发展现状，重点分析了各种燃烧技术对不同生物质的适应性，展望了生物质燃烧技术的发展趋势，提出了生物质燃烧技术发展和应用的建议。

我国目前有工业锅炉约50多万台，每年耗煤量约为全国煤耗总量的1/3，由燃煤工业锅炉造成的环境污染非常严重，许多地区(尤其是大中城市)都开始限制燃煤工业锅炉的使用，大量的工业锅炉必须采用洁净能源。尽管油气燃料、电力等均为洁净能源，但我国油气资源不丰、电力供需矛盾更为突出，因此，如发展燃油、燃气锅炉和电加热锅炉，其能源供应难以得到长期稳定的保证。我国拥有丰富的生物质资源，其中，农林剩余物占有很大的比重，而这些农林剩余物作为锅炉燃料使用则具有环境友好、可以再生的特点，因此，研究工业锅炉生物质燃烧技术，开发生物质燃料锅炉，对节约常规能源、优化我国能源结构，减轻环境污染将有积极意义。

### 1锅炉生物质燃烧必须解决的主要问题

大量的实验研究结果表明，生物质燃料的发热量略低于工业锅炉中常用的二类烟煤，和煤炭相比，生物质燃料挥发份很高，易于点燃，容易

燃烧；灰分含量很低，容易燃尽；基本不含硫，燃

烧后排放的 $\text{SO}_x$

等有害气体很少；生物质生长和利用的整个周期中排放

的 $\text{CO}_2$

接近为零，锅炉改烧生物质燃料有助于缓解地球的温室效应。因此，与煤相比，生物质是易于实现高效利用的洁净燃料，用生物质燃料替代煤炭作为锅炉燃料是可行的。但生物质燃料也有一些不利于燃烧利用的特性，如：

1)生物质燃料中大量的挥发分析出后，如果空气不足或温度较低，挥发分易裂解析出碳黑，使炉子冒黑烟；

2)固体燃料燃烧后期主要是固定碳的燃烧，而生物质固定碳含量少，因此，其燃烧过程持续时间较短，不耐烧；

3)生物质水分含量较多，且水分随生物质加工过程和储存条件显著变化，潮湿生物质入炉后需要较高的干燥温度和较长的干燥时间，而且生物质低位发热量随水分增大而急剧下降，所以，燃烧潮湿生物质燃料时，炉内温度场偏低，组织稳定的燃烧比较困难；同时，较多的水分也增加了烟气体积，使排烟热损失增加；

4)生物质(尤其是农作物秸秆)中含有较多的碱性物质，在高温燃烧环境下，碱性物质及其相关无机元素可能在炉膛内形成熔渣或以蒸气和飞灰颗粒的形式沉积于受热面，影响锅炉的热效率，同时对换热面造成严重腐蚀；

5)生物质燃料堆积密度小。

对颗粒形态燃料而言，煤的堆积密度约为 $800\sim 1000\text{kg}/\text{m}_3$

，生物质燃料中木材、木炭、棉秸等所谓“硬柴”的堆积密度在 $200\sim 350$

$\text{kg}/\text{m}_3$

之间，农作物秸秆等“软柴”的堆积密度比木材等硬材更低，例如玉米秸的堆积密度仅相当于木材的1/4，麦秸的堆积密度只有木材的1/10以下。由于生物质堆积密度小，因而在原料的收集、储存和燃烧设备稳定运行方面都比煤困难；

6)生物质(尤其是农作物秸秆)原料来源呈现很强的季节性，而且来源地分散，这给生物质的规模化、工业化利用造成了很大的困难。

由此可见，生物质燃烧方法的选择、燃烧技术的开发必须充分考虑生物质的燃料特性，才能保证生物质燃烧利用的经济性和可靠性，提高生物质开发利用的效率。

### 2锅炉生物质燃烧方式选择

生物质燃料在锅炉中可以采用炉排层燃、浮悬燃烧、流化床燃烧以及层燃与浮悬复合燃烧等燃烧方式。

#### 2. 1炉排层燃

炉排层燃是指生物质燃料铺在炉排上形成层状进行燃烧。

燃烧生物质的层燃锅炉一般采用链条炉或往复推饲炉排炉，小型燃烧设备也可采用固定炉排。燃料在往复推饲炉排上燃烧时，炉排推动燃料向前翻滚，有利于燃料的快速干燥和燃烧，这是固定炉排与链条炉排所不具备的优点，所以，往复推饲炉排炉可以燃用较难燃烧的高水分的生物质燃料(含水率可高达60%~70%)。

生物质中的灰分较低，燃烧后期炉排上残留的灰渣较少，易使炉排片烧损。往复炉排可在燃尽区采用耐热钢材作为炉排材料，固定炉排和往复炉排还可以采用风冷或水冷方式对炉排进行冷却，这些在链条炉排上很难实现，所以，链条炉排在燃用灰分过低的生物质燃料时，容易烧损炉排片。

炉排燃烧主要适用于大颗粒及块状生物质燃料，而细小生物质燃料在炉排上燃烧时，由于易从炉排孔隙中漏下或被炉排下的一次风吹起，因而一般不适合单独在炉排上燃烧。对于稻壳、锯屑、砂光木粉等细小生物质废弃物，可以先用机械加压的方法，使原来松散、无定形的原料压缩成具有一定形状、密度较大的固体成型燃料。生物质成型燃料密度可达 $1.1 \sim 1.4 \text{ kg/m}^3$ ，与散碎生物质燃料相比具有储运方便、燃烧稳定、燃烧持续时间长、燃烧效率高、烟气中污染物含量小等优点；其发热量与二类烟煤相当，挥发分是烟煤的20倍，灰分为烟煤的 $1/4 \sim 1/10$ ，燃烧特性明显优于煤炭，是一种适合在炉排锅炉(尤其是固定炉排和链条炉排)中燃用的优质燃料。

生物质燃料挥发分含量很高，需要的炉膛空间比燃煤锅炉大，所以，企业现有的层燃燃煤锅炉，若不进行适当改造，一般不宜直接改烧生物质燃料，否则，挥发分难以在炉膛中完全燃烧，容易导致烟囱冒黑烟、滴焦油，污染环境。

## 2. 2浮悬燃烧

对于细小、干燥的生物质燃料，可以利用高压风机，采用气力输送的方式，通过管道将细小生物质燃料喷入炉膛进行浮悬燃烧，浮悬燃烧的燃烧效率很高，可达98%以上，包括挥发分和固定碳都可以得到充分燃烧，可以彻底解决燃烧生物质燃料冒黑烟的问题，但烟气中的飞灰浓度大于层燃炉，需注意烟气除尘问题。

生物质在进行浮悬燃烧时，一旦炉子熄火，极易发生爆燃，所以必须安装火焰探测或炉温探测装置，炉子熄火时必须立即中断供料或立即点火，同时还须设置可靠的防爆装置。

采用层燃与浮悬燃烧相结合的复合燃烧方式可以有效地解决浮悬燃烧时的爆燃问题，其具体做法是：将生物质燃料进行分选，大块燃料采用炉排燃烧，细小燃料则喷入炉膛进行浮悬燃烧，炉排上稳定燃烧的火焰为浮悬燃烧提供了不熄灭的火源，而浮悬燃烧火焰又使炉膛温度升高，有利于炉排上大块燃料的快速干燥和燃烧，两者相得益彰。

## 2. 3流化床燃烧

流化床燃烧是介于层燃和浮悬燃烧之间的一种燃烧方式：高速气流通过流化床底部的空气分布板(类似于层燃的炉排)将流化床颗粒(包括生物质颗粒和砂子、燃煤炉渣等流化媒体)吹起，气流速度控制在恰好能使颗粒浮起而不被吹走，质量大的颗粒多集中在床底部(形成密相区)干燥、分解、燃烧，质量变轻的颗粒就被气流带到床上部(形成稀相区)继续燃烧，接近烧完的质量最轻的颗粒最后被气流带出炉膛，为了提高燃烧效率，可以将飞出的颗粒通过旋风分离器收集重新送回密相区继续燃烧，而烟气则从分离器上部排出，这就是所谓循环流化床(CFB)燃烧。

采用流化床燃烧方式，密相区的流化媒体具有很高的热容量，密相区床温一般在850-950℃之间，生物质燃料颗粒送入密相区后，与大量床料充分混合、传热，即使生物质含水率高达50%-60%，水分也能被迅速蒸发，使燃料迅速着火燃烧，加上燃料与空气接触良好，扰动强烈，因而燃烧效率显著提高，因此，流化床燃烧方式特别适合高水分生物质燃料的燃烧。另外，由于燃烧温度在850-950℃之间，产生的有害气体 $\text{NO}_x$ 很少。

## 3工业锅炉生物质燃烧技术现状

### 3. 1炉排层燃技术

由于大多数工业企业采用的都是具有炉排的层燃锅炉，所以开发适用于生物质的层燃锅炉受到国内外广泛关注。

欧盟许多成员国具有丰富的可再生能源，生物质燃烧技术也较为成熟。在丹麦，开发了一种专门燃烧已经打捆秸秆的燃烧炉，起重机将秸秆捆放入防火通道中，用传送装置将其运至料箱中，随后预热室的炉门打开，秸秆捆进入预热

室。预热室几乎是一个“气化室”，秸秆捆在预热室内被已燃烧的燃料点燃。根据引入空气位置的不同，秸秆捆的前部或顶部开始部分燃烧。根据烟气温度和浓度来控制空气量。安装在预热室底部的传输设备将正在燃烧的秸秆捆向前运送直至灰室出处。丹麦ELSAM公司研制的Benson型锅炉采用两段式加热，由4个并行的供料器供给物料，秸秆、木屑可以在炉栅上充分燃烧，并且炉膛和管道内还设置有纤维过滤器，以减轻烟气中有害物质对设备的磨损和腐蚀。

在我国，翟学民根据甘蔗渣的燃烧机理，研制出了一种采用闭式炉膛结构的甘蔗渣锅炉，甘蔗渣在炉内进行半层燃半悬浮燃烧；炉膛内布置人字型前后拱，通过前后拱的相互配合加强高温烟气对甘蔗渣的辐射，有利于甘蔗渣的及时着火和稳定燃烧。田宜水、张鉴铭等通过对秸秆本身特性的分析研究，在秸秆直燃热水锅炉燃烧室的设计中，采用双燃烧室结构。第一燃烧室为主燃区，设置于炉膛前部；第二燃烧室为辅助燃烧区，设置于炉膛后部，两者间由挡火拱分隔。该布置方式加强了秸秆与高温烟气、空气的相互混合，同时延长了燃料在炉内燃烧的停留时间，确保了秸秆燃烧的充分完全，取得了良好的运行效果。福建福锅锅炉有限公司研制的DZL4—1.25—M(A)型锅炉为卧式三回程水火管自然循环链条锅炉，燃料以废木料为主，烟煤为辅。木屑、碎木从前面进入炉膛，木条、树皮从两侧炉门进入炉膛，木粉通过喷播系统从炉前木粉喷管送入炉膛。需助燃时烟煤从煤斗进入炉膛。已生产出2-10t/h不同容量的锅炉，运行实践表明该锅炉符合设计规范的要求，具有出力足、调节方便、水循环运行良好等特点。

美国在20世纪30年代就开始研究压缩成型燃料技术及燃烧技术，并研制了螺旋压缩机及相应的燃烧设备；日本在20世纪30年代开始研究机械活塞式成型技术处理木材废弃物，1954年研制成棒状燃料成型机及相关的燃烧设备；70年代后期，西欧许多国家如芬兰、比利时、法国、德国、意大利等国家也开始重视压缩成型技术及燃烧技术的研究，各国先后有了各类成型机及配套的燃烧设备。我国生物质成型燃料技术在20世纪80年代中期开始，目前生物质成型燃料的生产已达到了一定的工业化规模。成型燃料目前主要用于各种类型的家庭取暖炉(包括壁炉)、小型热水锅炉、热风炉，燃烧方式主要为固定炉排层燃炉。河南农业大学副研制出双层炉排生物质成型燃料锅炉，该燃烧设备采用双层炉排结构，双层炉排的上炉门常开，作为燃料与空气进口；中炉门用于调整下炉排上燃料的燃烧和清除灰渣，仅在点火及清渣时打开；下炉门用于排灰及供给少量空气。上炉排以上的空间相当于风室，上下炉排之间的空间为炉膛，其后墙上设有烟气出口。这种燃烧方式，实现了生物质成型燃料的分步燃烧，缓解生物质燃烧速度，达到燃烧需氧与供氧的匹配，使生物质成型燃料稳定、持续、完全燃烧，起到了消烟除尘作用。

总体来说，目前欧盟国家生物质层燃技术比较先进，我国尚未研制出技术比较成熟、可以广泛应用的生物质层燃锅炉定型产品，现有的一些生物质层燃锅炉也以小型手烧炉为主，一些企业尝试在已有的燃煤链条炉中改烧生物质燃料，但这类锅炉炉膛一般较小，难以适应生物质高挥发分的燃烧特性，导致烟囱冒黑烟、滴焦油，一般都不成功，所以，针对生物质燃烧特性研制合适的链条炉是我国生物质层燃锅炉技术开发中必须重视的一个问题。往复推饲炉排炉在燃烧高水分生物质燃料方面具有独特的优势(燃料最高含水率可达60%)，所以在纤维板等人造板企业以及在城市垃圾焚烧等领域应用较多，目前主要要解决炉排片的冷却问题，并需制订相应的产品设计规范和行业标准，以适应快速增长的市场需求。

### 3. 2浮悬燃烧技术

浮悬燃烧方式主要适用于稻壳、锯屑、砂光木粉等细小生物质燃料的燃烧。

南京林业大学顾炼百等列在上世纪80年代研究开发了一种燃烧木粉等散碎木废料的旋风燃烧炉，该炉由主燃烧室和相邻的二次燃烧室组成，木粉由罗茨鼓风机的压气管向下喷入燃烧炉的主燃烧室，在炉体圆周切向有3对喷气管，左右相对地向炉膛喷射空气，以鼓动木粉螺旋式旋转并充分燃烧。二次燃烧室圆周切向也设有喷气管，以推动气流继续旋转。出口处设有第二道扼流圈，进一步阻挡未烧完的火星。高温烟气经调温调湿处理后，可直接作为干燥纤维、刨花的干燥介质，也可作为间接加热的载热体。

华中科技大学引研制出一种生物质粉体燃烧技术，将农业废弃物用破碎机破碎成粉体后，由进料装置喷入立式双回燃燃烧炉中燃烧。一次风为输料进风，与粉体均匀混合形成风粉气流；二次风切向进入，主要用于改善炉内气流状态。此装置能最大限度地提高燃烧温度和燃烧效率，并能减轻结渣腐蚀对燃烧产生的不利影响。

目前，一种称为热能中心的综合供能技术在人造板企业得到比较广泛的应用，该技术的关键设备是一种复合燃烧炉，块状生物质燃料在往复推饲炉排炉上层燃，而粉状燃料则从切向喷入安装在往复推饲炉排炉上方的圆筒状燃烧器中进行浮悬燃烧。这种复合燃烧炉既有复合燃烧的优点，又兼具往复推饲炉排炉可以燃用潮湿燃料的特点，因此可以燃烧人造板生产过程中产生的各种废木料。

### 3. 3流化床燃烧技术



流化床燃烧方式最适合含高水分生物质燃料的燃烧。西方发达国家研究生物质循环流化床锅炉(CFB)已经很多年了。20世纪80年代末,美国就开发出大型燃烧废木料的CFB锅炉。同一时期,我国哈尔滨工业大学与长沙锅炉厂等锅炉制造企业合作,研制了多台生物质流化床锅炉,可燃烧甘蔗渣、稻壳、碎木屑等多种生物质燃料,锅炉出力充分,低负荷运行稳定,热效率高达80%以上。浙江大学等也开展了相关研究工作。

生物质CFB锅炉有一个需要研究解决的问题是流化媒体的结渣问题。生物质燃烧后,碱性的灰中含有低熔点的NaCl、KCl、 $K_2Na(SO_4)_2$

,在高温条件下熔化并粘附在石英砂床料颗粒的表面,和 $SiO_2$

生成硅酸盐,形成粘附层。当粘附到一定的厚度后,就会产生足够大的粘附力,使石英砂床料颗粒粘连在一起形成结渣。研究表明,碱性指数小于0.17的木材、甘蔗渣等结渣的可能性较小,而碱性指数大于0.34的麦秸、棉秆、稻草、稻壳等比

较容易结渣。东南

大学刘仁平等研究棉秆流化床结渣特

性后发现,高铝矾土由于只含有少量的 $SiO_2$

,当用作循环流化床床料燃烧棉秆生物质时,长时间运行只会产生少量的结渣,对循环流化床的稳定运行影响不大。

#### 4发展与应用生物质燃烧技术的建议

(1)生物质种类繁多,不同种类生物质之间形态、组分、物性和燃烧性能千差万别,不可能找到一种统一的燃烧方式。应根据不同种类生物质燃料的燃烧特性,开发不同类型的燃烧技术,并研制相应的燃烧设备。对于干燥的、呈颗粒状(或粉状)的燃料,宜采用浮悬燃烧方法,最好是与层燃炉结合进行复合燃烧,块状、潮湿生物质宜采用往复推饲炉排炉燃烧,这两种燃烧方法目前技术上已比较成熟,燃用成本也相对较低。对于颗粒状潮湿生物质的燃烧,则宜优先考虑采用循环流化床锅炉。

(2)目前对生物质直接燃烧的研究,比较多地集中在生物质燃烧特性、燃烧方法和燃烧技术等方面,而对各种燃烧技术的经济性研究较少,更缺乏对不同燃烧方法、燃烧技术经济性的比较分析。实际上,由于生物质(尤其是农作物秸秆)原料来源地分散,收集、运输、贮存都需要一定的成本,有些燃烧技术需先对生物质燃料进行干燥、破碎等前期加工处理,真正适用的、值得推广的是能源化利用总成本最低、从收集到燃烧前期加工处理过程耗能最少、对环境影响最小的技术。例如,对于秸秆类生物质,捆烧将会是最有市场竞争力的燃烧方法,所以,应针对我国农村耕种集约化程度较低的现状,开发各种秸秆的小型打捆机械,并重点开发适用于秸秆捆烧的燃烧设备。由于秸秆类生物质来源地分散、季节性强,所以,也可以采用小型秸秆燃料成型机将其加工成成型燃料,可用于农民的炉灶燃烧或工业锅炉燃烧,但目前适用于燃烧成型燃料的民用灶具和工业锅炉产品很少,所以,应加快相关产品的研究开发。农林加工剩余物(如甘蔗渣、稻壳、废木料等)则宜就地或就近燃烧利用,如剩余物数量较大且能常年保证供应,则可作为热能中心或热电联产锅炉燃料,热电联产的锅炉型式应优先采用循环流化床锅炉,数量较少或不能保证常年供应的,则可采用能与煤混烧的燃烧设备。

(3)目前在生物质燃烧技术开发研究领域对生物质收集、处理技术和设备的研究较少。秸秆打捆设备的研究刚刚起步,打捆设备尚未普及;至于生物质干燥和粉碎,在其他领域都有比较成熟的技术和设备,但如将这些技术和设备直接用于生物质燃烧前的预处理,则一般都没有成本优势,这使得一些比较先进的燃烧技术(如浮悬燃烧技术和CFB技术等)难以大规模推广应用,因此,在重视生物质燃烧技术研究的同时,也应重视生物质收集、干燥、粉碎等技术的研究,关键是要研究开发简便适用、运行简便低廉的相关设备。

(4)生物质直接燃烧,既有利于缓解能源供需矛盾,更重要的是具有良好的生态环境效益,但目前其生态环境效益由于没有内部化造成了收益外泄;而化石能源产生的环境成本也没有内部化,结果影响了生物质能的发展。国家需要加大环境立法,是生物质能利用的生态环境效应转化为货币,体现到产品价格中去。此外,生物质能产业作为新兴绿色产业,需要大量资金投入,国家和地方政府在信贷、融资等方面都应该给生物质能产业创造便利条件,甚至于政策倾斜,在这方面,欧盟、美国、巴西等国家都有成功的经验可资借鉴。(徐德良 孙军 陈小娟 刘翔)

原文地址: <http://www.china-nengyuan.com/tech/44147.html>