

生物质与煤共燃技术

徐向乾，路春美，张梦珠，巩志强

山东大学，山东济南 250061

[摘要]对农林业废弃物、下水道污泥等生物质与煤共燃技术在燃料制备、燃尽特性、热效率、污染物排放、积灰、腐蚀等方面进行了介绍。

这些生物质与煤共燃虽具有较高的积灰和腐蚀性，但其可降低CO₂、SO₂、NO_x的排放，环境效益显著。

大气中CO₂

浓度的增加，会对全球气候产生一定的负面效应。减轻CO₂

排放问题的途径除了节能、提高能源利用效率外，采用可再生能源是一种更有效的方法。可再生能源利用途径中，利用农林业废弃物、下水道污泥进行热电生产是其中一种降低CO₂净排放的有效方法。

利用生物质和垃圾发电有两种方式，一是作为单一燃料使用小负荷生物质锅炉实现热电联产，二是利用现有煤粉炉实现煤与生物质的共燃。前者需要建立很多分散的生物质电厂，并且生物质特性差别较大，必须为不同生物质设计不同的锅炉。此外，生物质生产的季节需要大量的储存空间，导致成本增加。后者是利用大型电站的煤粉炉、流化床锅炉进行与煤共燃发电，投资和运行成本较低。在生物质与煤共燃发电站中，生物质的季节性波动和地域性波动、垃圾成分变化引起的影响，可以通过改变煤和生物质的比例进行补偿。

1 生物质燃料特性

可供利用的生物质燃料包括：(1)农业废弃物的秸秆、稻壳等；(2)林业废弃物的薪柴、树皮、树叶等；(3)快速生长能源植物如芒、象草、芦竹、灌木、乔木等；(4)城市垃圾、有机废水；(5)下水道污泥。

(1)农林废弃物密度一般较低，如麦秆和稻壳的密度分别为(50~120)kg/m³和122kg/m³，而褐煤密度为(560~600)kg/m³，烟煤为(800~900)kg/m³。

这种生物质发热量较低，仅为煤发热量的1/2~1/3。低密度、低发热量使得生物质废弃物的处理、运输和储存变得复杂。污泥的性质与低品质煤的性质相似。

(2)生物质燃料工业及元素分析与煤的比较见表1。生物质燃料挥发分较高，干燥基挥发分一般为60%~80%。而且水分含量高，范围从小于10%到大于50%，受天气和处理过程等的影响较大。生物质燃料固定碳一般在10%~20%之间。污泥的固定碳含量较低。生物质燃料的灰分比煤低，比如木材的干燥基灰分含量仅为0.2%。但下水道污泥的灰分较高，其干燥基灰分约为30%~60%。

(3)生物质的硫含量较低。木材、秸秆、能源植物等的干燥基硫含量一般低于0.15%，下水道污泥的硫含量较高。农林废弃物与下水道污泥的氧含量都比较高，约为30%~45%。农林废弃物的氮含量中等，但是下水道污泥的氮含量一般较高，约为6%~10%，相当一部分燃料氮以氨化物形式存在。在污泥干燥过程中，其中一部分氨挥发掉，有些生物质的氯含量比较高，如麦秆、稻草等，约为0~0.6%。

表 1 生物质工业和元素分析与煤的比较

燃料	工业分析				元素分析				
	M	V	FC	A	C	H	O	N	S
棉秆	6.9	73.0	16.9	3.2	50.4	8.4	39.8	1.4	0.0
豆秆	6.3	69.6	19.0	5.1	45.4	6.7	46.9	0.9	0.1
木屑	40.0	46.7	12.8	0.5	50.7	5.9	43.1	0.2	0.04
下水道 污泥	6.9	44.6	7.0	41.5	52	6.3	32.1	6.3	3.1
烟煤	7.5	34.0	53.6	4.9	88.0	6.0	4.0	1.2	0.8
褐煤	13	41.2	21.3	24.4	48.9	3.2	11.7	1.4	0.5

(4)农林废弃物含有

较高的碱金属成分(K等)、碱土金属(Ca等)

，一般CaO含量为25%~60%，K₂O为10%~35%，P₂O₅

为4%~15%。碱金属含量高容易导致锅炉受热面结渣和腐蚀。污泥的金属含量比农林废弃物更高，污泥灰分中约含有10%左右的Fe₂O₃和20%左右的CaO，而且Zn、P、Hg、Cr、Pb、Cu、Co、Ni均比煤高。

2燃料制备

生物质与煤共燃时需要单独的制备系统和给料装置。对于稻壳、木屑、芦竹等纤维结构的生物质，在燃烧时需要切割和破碎。由于在煤粉炉燃烧时有较长的停留时间，可以保证生物质的充分燃烧，秸秆长度最大可达200mm，木屑需磨成小于1mm的颗粒。如果木材水分大于8%时，会影响制备系统的运行。在流化床锅炉燃烧系统中，秸秆既不用磨制，也无需预先干燥。

下水道污泥与煤在可磨性上相近，可使用与煤相同的制备系统。王雪在污泥制备过程中发现污泥的水分低于30%时，对制备系统无影响；30%~50%时，制备系统会出现部分堵塞，短时间内可正常运行；超过50%时，制备系统出现异常，料仓内料部分被压结块，输送管出现严重堵塞。煤粉与污泥颗粒粒径相同，制备系统问题较少。

3农林废弃物与煤共燃

3.1煤粉炉

在煤粉炉内，生物质与煤共燃点火比纯煤容易。这是由于生物质的挥发分含量高，使得混合燃料的着火点降低，可以快速点燃。生物质与煤共燃时，通常采取低温燃烧技术，炉膛火焰中心温度平均在1000~1200℃，可避免局部高温和结焦以及高温型NO_x的生成。

生物燃料的燃尽程度取决于燃料种类和掺入的生物质比例。与芒等共燃时，当芒的热量输入超过总输入量的25%，过量空气系数小于1.1时，会导致燃尽率的下降，灰斗中焦炭量高，烟气中CO浓度较高。当秸秆和芦竹的量超过25%时，CO排放与单独燃烧褐煤时相当。当生物质颗粒尺寸足够小，并且充分干燥后，可以实现稳定的点火和燃尽。

生物质颗粒度对燃烧效率有微弱影响。Kicher-er通过500MW煤粉炉烟煤与秸秆的共燃研究发现，当粗颗粒(平均直径大于6mm)秸秆的输入量从0~40%时，燃尽效率从99.5%降到99.3%，而细颗粒(平均直径小于0.75mm)的效率则增长到99.9%。另外，生物质高的反应活性、高的挥发分、大的比表面积等均可以改善煤的燃烧特性。

在污染物排放方面，燃烧器的喷射方式对NO_x的形成有很大影响

。如果燃料通过燃烧器的中心管喷入

，会进入过量空气系数较低的回流区，NO_x排放较低，但若从燃烧

器环形间隙喷入，则燃料在高过量空气条件下

热解，导致燃料N向NO_x

转化的增加。因此，氮含量高的燃料应从中心管喷入。与纯煤燃烧相比，生物质与煤共燃采用空气分级燃烧，在总体富氧条件下即可实现低NO_x

排放。另由于生物质含硫量较低以及生物质灰所具有的固硫作用，使SO₂产物也随着生物质掺烧比例的增加而降低。

与氯含量较高的生物质(如稻草、芒类)共燃时，可能会因腐蚀加重而影响锅炉运行。当掺烧热量占10%的秸秆时，锅炉的腐蚀速率比纯煤运行时增加，但并不影响运行。在生物质掺烧比率较小的情况下，煤灰的性质占主导，与全燃煤时无明显差异。如果生物质掺烧比例较大，由于生物质灰的熔点较低，未完全燃烧的秸秆颗粒可能造成结焦。

3.2流化床

流化床对燃料适应性强，可同时燃烧几种不同特性的燃料，燃料种类的选择和掺混比例比较灵活。流化床可以采用分段燃烧和不分段燃烧。在分段中引入燃尽风，可以使秸秆中的挥发分与空气充分混合，提高燃烧效率。此外，也可以通过加长悬浮段高度(3~5)m，增加锅炉内反应物的停留时间，进一步提高燃尽效率。

流化床燃烧可以大大降低烟气中SO₂

的含量。这是由于生物质燃料含硫量低以及生物质灰中的CaO、MgO具有一定的固硫能力。另外，由于燃料中燃料氮含量较低，NO_x排放总量也比煤粉炉有所降低，NO_x可降至200mg/m³左右。

由于流化床燃烧温度较低(850~900)，N₂O的排放浓度一般比其它燃烧方式高。荷兰代尔福特大学的研究认为，加入生物质对N₂O排放无影响，而王晶红等人则认为，N₂

O会有微小的降低，并

且与混合比例有关，生物质比例越大，削减程

度越高。刘德昌认为，N₂

O降低的主要原因是由

于随挥发分释放出来的燃料氮主要以NH₃而

不是HCN存在，而HCN是N₂O形成的主要原因，并且随生物质量的增加，NH₃呈线性增加，HCN则降低。

在生物质共燃烟气中，当氯含量较高生物质掺烧比例达到60%时，烟气中氯含量是单独燃用煤时的20倍。污染物二恶英、呋喃浓度也随掺烧量增大而增大，这主要由于生物质氯含量和挥发分较高，以及煤灰中含有一定量的铜等所致。

在循环流化床锅炉中积灰呈非粘性，分析显示积灰中含有大量氯化钾。Hansen在80MW流化床锅炉中发现在对流通道中过热器腐蚀严重。分析认为生物质K、Cl含量较高，Cl是引起过热器高温腐蚀的主要原因。燃烧室上部和旋风区温度不能有效控制，是导致旋风区和对流通道严重积灰的主要原因。

4下水道污泥与煤共燃

4.1煤粉炉

在煤粉炉内共燃时，污泥须脱水，预先干燥。污泥和煤粉可以预先混合通过煤粉燃烧器喷入或两种燃料单独从不同燃烧器喷入，炉膛温度可达1500~1600。对于可燃用高水分燃料的锅炉，最多可以掺烧水分10%的污泥，而设计煤种为褐煤时，污泥水分最高可达40%~50%。污泥掺入比例的范围通常在2%~20%之间。由于污泥中氮含量较高，不分级燃烧条件下，NO_x

排放浓度较高，且排放水平随污

泥掺烧比例的增加而增加。在分级燃烧条件下，NO_x减排效率可以达到70%~80%。例如IVD University StuttgartD进行的0.5MW煤粉炉共燃试验

，采用不分级燃烧方式共燃50%的污泥时，NO_x排放浓度为2800mg/m³

；当低主燃区过量空气系数0.7~0.9、25%的共燃比例下

，NO_x可降低到350mg/m³。另外，SO₂排放比生物质共燃时低，一般燃料硫转化为SO₂的比例为90%。

下水道污泥颗粒中的Zn、P、Cr、Pb、Cu、Co、Ni的含量比纯煤燃烧时高，但低于排放标准。下水道污泥Hg以化合物形态存在，含量一般较高。由于汞的沸点低，Hg的化合物易蒸发并与烟气混合排出。但Hg的化合物在高温下不稳定，在高于700会分解成元素Hg，元素Hg不易溶解。因此，必须额外增加文丘里吸附器(与褐煤共燃)以吸收烟气

中的Hg。吸收器一般安装在静电除尘器之后，可以除去95%的Hg。

4.2流化床

下水道污泥与褐煤共燃时，燃烧和排放特性均很好。Tadaaki

Shimizu发现污泥共燃时 NO_x

排放量比单独燃用纯煤时要高很多

，并且随运行时间的增长，排放浓度上升，而 N_2

O浓度则有轻微降低。由于污泥中活性钙是煤的2~3倍，且分布均匀，因而污泥的加入提高了混合燃料燃烧过程中的固硫能力，污泥加入的量越多，固硫能力越强。但是M.Bebe'n

Folgueras认为，在污

泥中起主要固硫作用的是CaO，而其它碱

金属K，Na等由于含量低并且 FeCl_3 中的氯会使得钠、钾等挥发，而且由 FeCl_3 转化来的 Fe_2O_3

会与CaO生成铁酸钙，CaO与 SiO_2 生成 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，均减小了CaO的固硫能力。

5结论

生物质与煤共燃技术利用煤粉炉、流化床锅炉效率高的特点，燃烧和排放特性较好，而且投资低，风险低，具有较高的经济效益和环保优势。虽然可能引起积灰和腐蚀的加重以及重金属排放高等技术问题，但在适当的掺烧比例下，对运行的影响仍处在可控制的范围。我国生物质的产量较大，且随着人民生活水平的提高，包括下水道污泥在内的垃圾逐年增多；同时，商品能源在农村能源消费中比例的增大，大量农林业生物质被废弃。发展火电厂共燃技术是解决垃圾处理，合理利用农林废弃物的最佳途径。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/85540.html>