

燃料特性对生物质循环流化床锅炉设计运行的影响

肖惠平，徐荻萍

（南通万达锅炉有限公司，南通226006）

摘要：从生物质燃料的灰分质量分数及成分、水分质量分数和粒径等方面分析了燃料特性对生物质循环流化床锅炉设计和运行的影响，并对可控制的燃料特性或由燃料特性引起的锅炉设计中的注意点给出一些参考性的建议。

生物质能是一种可再生的清洁能源。合理地利用生物质替代部分化石燃料，不仅可以缓解日益严重的能源紧缺问题，而且可以降低CO₂排放，有效地减少环境污染，因此开发生物质能用于发电在我国具有重要意义。近几年，国家出于节能减排、提高资源利用率的考虑，号召开发生物质能源的再生利用技术，燃用生物质燃料的循环流化床（CFB）锅炉应运而生。如何使生物质CFB锅炉有效地降低成本、提高效率是不少科研院所和制造单位努力的方向。了解生物质的燃料特性，采取有针对性的设计方案，对保证生物质CFB锅炉的性能、延长锅炉的使用寿命、提高锅炉的效率具有深远的意义。

1 生物质燃料特性

燃料特性主要包括：水分质量分数、挥发分质量分数、元素成分、发热量、灰分质量分数及其成分、颗粒粒径的分布、破碎特性、密度等几个方面。生物质燃料的特殊性主要表现在以下几个方面：

- （1）生物质燃料挥发分高，析出温度低，且析出过程短。
- （2）水分质量分数多变，高水分对燃烧的初始阶段影响很大。
- （3）生物质燃烧后灰分少，灰的质地松软。
- （4）生物质燃料的半焦活性高，燃尽快。
- （5）生物质燃料的硫质量分数低，污染物排放质量浓度低。
- （6）多数一年生草本类生物质钾、氯质量分数高。

2 生物质燃料特性对锅炉的影响

燃料特性对锅炉的影响主要体现在：着火的难易、燃烧的稳定性和结渣和黏结、成灰的特性及炉内灰的质量浓度分布、燃烧效率、污染物排放、受热面布置、破碎系统的选取、辅机的选用。

生物质CFB燃烧过程：首先是燃料颗粒得到高温床料的加热并干燥；然后是燃料热解及挥发分燃烧；接着是某些颗粒会发生膨胀和一级破碎；最后是焦炭燃烧并伴随磨损现象。

生物质燃料特别易燃，挥发分燃烧在短时间内完成（约3s）。半焦燃烧主要阶段在燃料入炉后8~10s，半焦的基本燃尽需要45~50s，因此生物质在炉膛的燃烧过程和煤的燃烧过程在发生时间、燃烧历程等方面有着显著的区别。

2.1 灰分质量分数的影响

CFB需要大量的床料颗粒在循环回路中循环，使得热量分布更加均匀，传热更快，燃烧更充分。

2.1.1 对燃烧的影响

灰分质量分数的增加使锅炉物料循环量增加，使炉膛燃烧温度下降，特别对采用中温分离的生物质锅炉尤为明显。采用中温分离的生物质CFB锅炉，一般情况下返料温度在620℃左右，而当含灰量大大增加时，会使返料温度低于550℃，从而使炉膛温度迅速降低，有时甚至造成炉膛灭火事故。

2.1.2对负荷的影响

烟气中灰分质量浓度对CFB锅炉炉膛的传热系数影响很大，当灰分质量浓度增加时，水冷壁的对流和辐射传热系数都将增加，因此灰分质量浓度作为调节负荷与床温的手段被广泛采用。

2.1.3对料层的影响

在CFB锅炉运行中维持床高的相对稳定十分重要。床层过高、过低都会影响流化质量，引起结焦。

2.1.4对尾部受热面布置的影响

燃料灰分质量分数影响烟气中飞灰质量浓度，从而影响尾部受热面的积灰和磨损。由于生物质燃料外带灰量的影响，使尾部省煤器积灰严重，因此省煤器结构由原来的错列布置改为顺列布置。

为了尽量减少燃料中灰分质量分数变化产生的不利影响，当燃料含灰多时，一般采取放底渣的方式。当生物质燃料含灰少时，靠自身的灰量无法满足床料循环的要求，则在运行中一般需要添加床料。所加床料成为循环物料的主体，且应不易被磨损，如采用石英砂、河砂等。表1以75t/h锅炉为例，给出了燃用不同生物质燃料时的床料补给量，因各种燃料夹带的砂土量不同，所以补料量也不同。

**表 1 75 t/h 锅炉燃用
不同生物质燃料时的补料量**

项目	稻壳	林业废弃物	麦秆
$w(A)/\%$	4.68	23.03	8.9
炉膛受热面积/ m^2	781	645	700
补料量/ $(kg \cdot h^{-1})$	150	70	100

2.2灰成分的影响

秸秆灰750 开始熔融，1000 后熔融质量分数超过30%，1200 彻底处于融化状态。灰的成分不同，则灰的熔点和烧结温度也不同，对流化床运行的结团、结渣和高温腐蚀的影响也不同，碳酸化、硫盐化产物易引起黏结，灰的硬度也不同。表2是对秸秆原料灰熔点及灰成分分析。

表 2 秸秆原料灰熔点及灰成分分析表

项目	稻草	麦草	次烟煤	
灰熔点	$t_d/^\circ\text{C}$	770	750	1 440
	$t_s/^\circ\text{C}$	795	770	1 420
	$t_f/^\circ\text{C}$	820	800	1 380
灰成分	$w(\text{SiO}_2)/\%$	67.88	58.06	46.48
	$w(\text{Al}_2\text{O}_3)/\%$	1.68	2.46	39.57
	$w(\text{Fe}_2\text{O}_3)/\%$	0.82	1.25	6.26
	$w(\text{CaO})/\%$	4.03	5.86	4.69
	$w(\text{MgO})/\%$	2.48	3.90	1.05
	$w(\text{Na}_2\text{O})/\%$	1.51	1.78	0.62
	$w(\text{K}_2\text{O})/\%$	18.56	23.81	3.01
	$w(\text{SO}_3)/\%$	0.85	1.21	2.62

从表2中可以看出：秸秆具有很高的碱金属含量，燃尽后草灰中的钾与床料中的相互作用生成低熔点的化合物，因而容易在高温炉膛内结焦。在流态化燃烧过程中主要表现在床层聚团和水冷壁及炉膛内受热面结焦等方面。床层聚团发生的主要原因是局部熔融的生物质半焦或者灰颗粒黏附在床料颗粒之后降低了流化质量，导致局部流化不充分引起局部高温，高温又加剧了灰颗粒的熔融，从而强化了床料颗粒之间的黏结，使流化进一步恶化，最终使流化失败。因此，作为燃用生物质的CFB锅炉，要解决燃料在锅炉中燃烧容易引起结团、结焦的问题。

对流受热面易形成高温黏结灰，积灰则是由生物质中易挥发物质（主要是碱金属盐）在高温下挥发进入气相后，与烟气、飞灰一起流过烟道和受热面（主要是过热器和再热器）等设备时，会通过一系列的气固相之间的复杂的物理和化学过程，以不同的形态在对流受热面上发生凝结、黏附或者沉降。积灰容易产生高温碱金属腐蚀、锅炉尾部低温氯腐蚀和飞灰搭桥等问题，在锅炉设计和运行中须引起注意。

针对流态化过程的结焦聚团导致流化失败和碱金属导致的高温腐蚀、低温腐蚀问题，可以从以下几个方面加以解决：

- (1) 利用生物质易燃特性，控制燃烧回路温度。由于生物质灰熔点普遍较低，炉膛采用750~850（根据燃料的灰熔点确定）能有效抑制碱金属的结渣，减少腐蚀的发生。
- (2) 密相区选择合适的流化速度，通过调整循环倍率，通过循环物料把合适的热量携带到炉膛上部。
- (3) 采用足够的炉膛换热面积，或在炉膛上部布置自然循环水冷屏，以降低炉膛出口烟气温度。
- (4) 中温循环灰保证密相区稳定的运行温度（700 以下），同时保持密相区一定的温度。

- (5) 设计独特的高效分离装置和较大的返料途径，保证循环回路通畅。
- (6) 高温级受热面布置在较低烟气区域，控制金属壁面温度。
- (7) 依据工质温度选择合适的材料。中温中压参数的高温过热器的材质一般选用12Cr1MoVG，高温高压参数锅炉的高温过热器用耐腐蚀的不锈钢，如TP347或SUS316等，甚至可以采用临界参数锅炉才用的SA-213T91^[1]。
- (8) 尾部受热面管组一般采用顺列布置，横向节距要比燃煤锅炉大，可以防止飞灰搭桥。采用合适的吹灰手段有效控制灰沉积。
- (9) 低温区域（空气预热器）常选择09CuPCrNi-A（考登钢），或搪瓷管等防腐蚀材料，以减少低温氯腐蚀对锅炉的不利影响。

2.3水分质量分数的影响

生物质燃料中水分质量分数（含水量）普遍较高，因此对锅炉炉膛运行的影响很大，主要体现在：

- (1) 燃料入炉后水分大量吸热，导致密相床温降低，影响燃料的着火、燃烧。
- (2) 使得燃烧中心上移，炉膛上部温度过高。
- (3) 燃尽度降低，增加了不完全燃烧损失。
- (4) 烟气量增加，尾部受热面吸热份额增加。
- (5) 锅炉排烟温度提高，热损失增加，降低了锅炉效率（见表3）。

表 3 燃料水分对锅炉排烟温度及效率的影响

项目	数值		
燃料水分质量分数 $w(M) / \%$	45.00	25.00	15.00
燃料低位发热量 / $(\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	8 903	13 409	15 504
锅炉排烟温度 / $^{\circ}\text{C}$	165	155	148
低位发热量热效率 / $\%$	89.0	90.5	91.1
高位发热量效率 (ASME) / $\%$	68	76	81
燃料水分导致的热损失 / $\%$	12.3	5.2	2.5

从表3中看出：随着含水量的增加，排烟温度和热损失明显增加，因此含水量是燃料利用效率降低的主要因素。同时燃料含水量还对其稳定燃烧有着不利的影响。因此，生物质CFB锅炉虽然对水分波动的适应性较强，但要达到良好的经济效益应尽量控制入炉燃料的水分在合理范围内。

2.4燃料颗粒粒径的影响

CFB燃烧对燃料的适应性较广，对入炉燃料粒径要求并不严格。但生物质燃料密度小、质地柔软、有韧性，破碎难度大，大部分易缠绕，流动性极差，过大或过小的颗粒粒径都不太合适。

2.4.1对炉前处理设备及给料设备的影响

生物质有两类燃料：硬杆和软杆。硬杆密度大，一般采用链板输送；软杆密度小，体积蓬松，一般采用螺旋蛟龙输送。颗粒小，破碎要求相应提高，成本增加；颗粒大，会带来缠绕、堵塞等问题，影响燃料输送。

2.4.2对锅炉燃烧的影响

生物质燃料一般较轻，其燃烧一般是挥发分析出和焦炭的燃烧。颗粒太小，炉内停留时间太短，不能燃尽，增加尾部受热面积灰及飞灰含碳量；颗粒太大，炉内颗粒分布不均，挥发分析出慢，焦炭颗粒大，燃烧不充分，影响锅炉正常运行。因此，生物质燃料颗粒粒径应加以控制，对于秸秆类的燃料破碎后尺寸控制在2~3cm为宜，最大尺寸小于10cm。

3设计示例

1台75t/h生物质CFB锅炉，设计燃料为麦草，水分质量分数25%，灰熔点755℃，热值11531kJ/kg。设计时，首先考虑到麦草杆软质轻，体积蓬松，采用螺旋蛟龙输送，利用螺旋挤压能力进行给料（见图1）；其次考虑到麦草灰量少，含灰量只有8.9%，该锅炉采用河砂进行补料，正常情况下补料量为100kg/h，以便充分保证锅炉循环灰的高度（图2为补料装置）；第三考虑到麦草水分大及灰熔点低的情况，会使得炉膛中上部温度过高，因此在炉膛中上部设置了水冷屏，既保证了燃料的充分燃烧，又保证了整个循环回路的温度，减少受热面积灰，抑制碱金属的结渣，从而减少腐蚀的发生（见图3）。

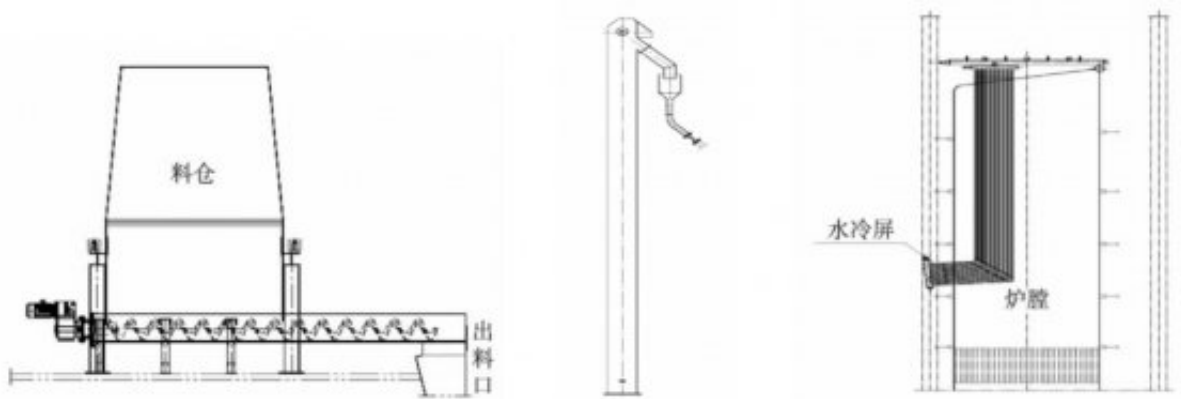


图1 螺旋蛟龙输送燃料

图2 补料装置

图3 炉膛中上部设置水冷屏

4结语

生物质燃料含灰量对CFB锅炉的稳定燃烧、炉膛的传热系数、尾部受热面的积灰和磨损都有很大的影响，维持相对稳定的床高在运行中十分重要。生物质燃料中的碱金属含量高，容易引起结团、结焦，从而引起受热面腐蚀。控制燃烧区域温度，选择合适的流化速度也很重要。生物质燃料大都含有水分，影响其着火、燃烧，降低锅炉效率，因此应尽量控制入炉燃料的水分。太大的燃料颗粒会使得燃烧不充分，影响锅炉正常运行，也必须适当加以控制。

只有对生物质燃料的特殊性充分掌握，在设计和运行中才能更好地加以利用，提高锅炉及其系统设备的适应性和可靠性，以使生物质直燃技术产生更高的社会和经济效益。

参考文献：

[1] 韦江华.我国生物质循环流化床的技术特点[J].中国科技纵横, 2010(22): 19-20.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/117944.html>