

生物质颗粒燃料及直燃式生物质锅炉

徐永前

(苏州市特创锅炉压力容器服务所，江苏苏州215128)

摘要：根据生物质颗粒燃料的燃烧特性设计制造直燃式生物质工业锅炉，对直燃式生物质工业锅炉的常见燃烧方式、生物质层燃锅炉的一些独特结构进行分析探讨，有助于燃生物质颗粒锅炉性能的完善和提高。

0概述

生物质能作为煤、石油、天然气以外的第四大能源，是一种既环保又可再生循环利用的洁净能源，它将成为未来世界最为重要的能源之一。我国生物质能资源潜力折合7亿吨标煤左右，而目前年实际使用量为2.2亿吨标煤左右。因此，我国的生物质资源还有很大的开发潜力。

生物质是一种清洁的低碳燃料，其含硫和含氮量均较低，同时灰分份额也很小，所以燃烧后 SO_2 、 NO_x 和灰尘排放量比化石燃料要小得多，生物质对生态环境的最大贡献还在于其具有 CO_2 零排放的特点。

生物质成型固体燃料在工业锅炉上的应用已经相当普遍，近几年，生物质颗粒燃料的生产和直燃式生物质工业锅炉的开发都有了很大发展，尤其在木质生物质颗粒制造方面，在经济发达地区已经形成了只要有资源就存在颗粒生产基地的格局。

1生物质成型燃料及生物质固化

生物质燃料中较为经济的是生物质成型燃料，生物质成型颗粒就是利用秸秆、薪材、植物果壳等农林废弃作物，经粉碎—混合—挤压—烘干等工艺压制而成，可以制成棒状、粒状、块状等各种形状。原料经济压成型后，密度为 $0.8 \sim 1.4t/m^3$ ，能量密度与中质煤相当，燃烧特性明显改善，火力持久黑烟小，炉膛温度高，而且便于运输和贮存。

用于生物质成型的方式主要有螺旋挤压式、活塞冲压式和环模滚压式等几种。目前，国内生产的生物质成型机一般为螺旋挤压式，生产能力多在 $0.2 \sim 0.4t/h$ ，电机功率 $7.5 \sim 18kW$ ，电加热功率 $2 \sim 4kW$ ，生产的成型燃料为棒状，直径 $50 \sim 70mm$ ，单位产品电耗 $70 \sim 100kWh/t$ 。曲柄活塞冲压机通常不用电加热，成型物密度稍低，容易松散。

环模滚压成型方式生产的成型燃料为颗粒状，直径 $6 \sim 12mm$ ，长度 $20 \sim 40mm$ ，不用电加热。物料水分可放宽至 18% ，单机产量可达 $2t/h$ ，产品电耗约为 $60kW/t$ ，原料粒径要求小于 $1mm$ 。该方式主要用于大型木材加工区木屑加工或造纸厂秸秆碎屑的加工。

工业锅炉主要采用直径为 $8 \sim 10mm$ 、长度为 $25 \sim 35mm$ 以木质为主的生物质颗粒作为燃料，其主要技术指标为：直径 $6 \sim 12mm$ ，长度为直径的 $2 \sim 4$ 倍，堆积密度大于 $600kg/m^3$ ，破碎率小于 $1.5\% \sim 2.0\%$ ，干基含水量小于 $10\% \sim 15\%$ ，灰分含量小于 1.5% ，硫含量和氯含量均小于 0.07% ，氮含量小于 0.5% ，热值大于 $16MJ/kg$ 。小型固定炉排和半气化生活锅炉主要使用棒状或块状的生物质燃料。

生物质颗粒的成型密度是生物质颗粒的一个重要指标，它关系到生物质颗粒的外形质量和自然堆积密度，目前国内许多地区生产的木质颗粒燃料的密度都在 $1.1 \sim 1.3$ ，然而较高的成型密度会导致生物质颗粒生产成本的增高。为了使颗粒达到一定的密度，必须提高模具成型孔的压缩比，而较高的压缩比使得成型孔在生产过程中经常被堵塞，出料缓慢使颗粒的产量下降，模具损坏几率增加。对于工业锅炉使用的颗粒燃料，将颗粒密度确定在 $0.8 \sim 1.1$ 最为经济。

2直燃式生物质工业锅炉

从燃烧机理分析，生物质固体燃料与煤的燃烧机理十分相似，但生物质的挥发分由于析出温度低而易着火。实践表明，直接采用燃煤锅炉改烧生物质效果不好，会产生炉前热量聚集且不稳定、炉前料斗易着火、锅炉停炉和启动时冒黑烟、热效率低等问题。

生物质燃料许多特有的燃烧特性，决定了直燃式生物质工业锅炉的燃烧方式、供料方式及锅炉的特有结构，表1列出了生物质固体燃料与煤的成分比较。从表1可见，生物质固体燃料的含碳量远小于煤，挥发分远高于煤，二者的化学成分含量、密度(尤其是自然堆积密度)都有着较大的不同。因此生物质的燃烧方式、供料方式、锅炉结构等必须有别于燃煤锅炉。

表1 生物质固体燃料与煤的成分比较

燃料	碳 C/%	氢 H/%	氧 O/%	硫 S/%	灰分 A/%	挥发分 V/%	密度 $\rho/(t \cdot m^{-3})$
生物质固体燃料	38~50	5~6	30~44	0.1~0.2	4~14	65~70	0.47~0.64
煤炭	55~90	3~5	3~20	0.4~0.6	5~25	7~38	0.8~1.0

2.1 生物质燃料的燃烧特性

生物质燃料含碳量较低，因此热值较低，燃烧时间较短。

生物质燃料挥发分较高，且生物质燃料中碳多与氢结合成低分子量的碳氢化合物，遇热即析出，所以生物质燃料易着火，需要采取拦火措施以防止炉前料斗内着火。燃料预燃段挥发分析出量较大，此处必须配给足够的空气方能保证充分燃烧，否则就会产生黑烟。

生物质燃料含氧量较高，燃烧时可适当减少供风量。

生物质灰分较低，且密度小易被吹起，但生物质灰熔点较低，炉膛内易结焦、挂渣。

未经固化的生物质燃料自然堆积密度很小，一般在 $100 \sim 300 \text{kg/m}^3$ ，因此燃料供给必须考虑足够的供料速度、供料体积及燃烧室容积。

2.2 直燃式生物质工业锅炉燃烧方式

国内直燃式生物质工业锅炉常见的燃烧方式有层燃式(包括固定炉排燃烧、下饲式燃烧、链条炉排燃烧、往复炉排燃烧等)、室燃式(粉体燃烧)、悬浮式(流化床燃烧)。对于颗粒燃料，主要燃烧方式为层燃式。

(1) 层燃式

在层燃炉中，热功率 0.7MW 的锅炉常采用固定炉排和下饲式燃烧，热功率 $> 0.7 \text{MW}$ 的锅炉较多采用链条炉排或往复炉排燃烧。

固定炉排燃烧主要解决燃料的自动连续供给且保证燃料在炉排上的均匀分布，因此配置合理的供料方式尤为重要。固定炉排四周一般为水冷受热面，生物质燃烧着火温度较低，且析出气体较多，这些气体一旦未燃尽就与水冷面接触，会导致锅炉冒黑烟情况出现，因此，布置合理的二次风对烟气进行扰动助燃可以很好地解决燃烧冒黑烟的问题。

下饲式燃烧适合于颗粒状生物质燃料，下饲式燃烧需要解决好灰渣的排除和停炉燃料自燃冒烟的问题。由于下饲式燃烧时燃料自下而上供给，灰渣在燃烧层表面，如果不能及时排除，因生物质的灰熔点较低，一定会出现结焦情况，结焦将导致炉床局部通风不畅，使得燃烧无法正常进行。

生物质易自燃，锅炉停炉时，燃烧将在缺氧状态下继续进行并产生黑烟，因此，下饲式燃烧必须具备停炉拦火功能，以防止停炉时锅炉冒黑烟。

链条炉排燃烧与往复炉排燃烧形式相似，只是炉排不同而已。理论上讲往复炉排在供给燃料推动的同时，还能使火床上的燃料受到拨动，对碳的燃尽十分有利。这个观点在燃料为生物质颗粒情况下可以成立，但对于没有进行固化的生物质燃料，由于自然堆积密度较小，炉床上料层厚度很厚，炉排面没有足够的倾斜度，往复炉排无法正常将料层向前推移，且高温区炉排易烧坏；而链条炉排燃烧相对比较稳定，炉排在返程可以得到冷却，因此目前链条炉排是生物质工业锅炉最常见的燃烧设备。

采用分段供料的往复炉排，可以让各燃烧区域推料速度不同，利用这个特性提高炉排前段运行速度，保证生物质燃料快速进入炉膛，解决了生物质易燃着火、燃烧过快的问题，将炉排后部速度降低，有利于燃料中固定碳的充分燃烧。在热功率较大的生物质层燃锅炉中，采用分段供料的往复炉排比较常见。

链条炉排、往复炉排锅炉燃烧生物质燃料必须根据生物质种类确定炉排速度和料层厚度，合理布置前后拱、炉墙、炉膛容积及配风，并设置合理的启、停炉顺序，方能保证生物质燃烧正常进行。

(2)室燃式(粉体燃烧)

粉体燃烧炉是专为燃烧家具、地板等企业生产过程中产生的大量粉体废料设计的，粉体燃烧炉采用类似煤粉炉的燃烧技术，将粉体与空气混合后喷入炉膛，粉体在炉膛内悬浮燃烧。

粉体随空气一同喷入炉膛，在炉膛内滞留时间较短，很可能未充分燃烧就进入水冷受热面，导致部分未燃尽的颗粒得不到完全燃烧、受热面上产生大量积灰。因此粉体燃烧炉如何延长粉体在炉膛内燃烧时间是该炉型主要解决的问题，同时由于粉体易燃易爆，燃烧安全也是主要考虑的因素。

(3)悬浮式(流化床燃烧)

流化床燃烧对燃料的适应性较广，生物质燃料无需固化就能在流化床上充分燃烧，一般应用于锅炉容量较大且燃料品种较杂的工业锅炉，目前国内流化床锅炉最小容量为7MW。

2.3直燃式生物质层燃锅炉独特结构

由于生物质的燃烧特性与燃煤比较相似，因此大部分生物质锅炉结构都与燃煤锅炉类似，层燃锅炉依然是生物质工业锅炉的最基本炉型。根据生物质特性设计的生物质层燃锅炉具有一些独特的结构。

(1)锅炉本体

与燃煤锅炉相同，生物质层燃锅炉本体主要有水管、水火管两种结构，一般情况下2.8MW以下的锅炉大多采用水火管结构，4.2MW及以上的锅炉主要采用水管结构。但实际应用情况表明，由于水管锅炉对流管束易积灰且不易清理，生物质燃料的粉尘比较疏松，附着力比煤灰要强许多，所以常常因清灰而造成停炉，且停炉时间较长。相比之下，水火管锅炉的烟管束不易积灰，易清理，因此国外的生物质锅炉主要采用水火管炉型。国内新型的单回程烟管水火管锅炉，在减少烟管数量、降低锅炉耗钢量的同时，保留了水火管锅炉的特征，是一种比较适合燃用生物质燃料的炉型。

(2)炉前料斗

层燃锅炉一般通过炉前料斗对炉膛供料，由于生物质燃料非常易燃，为了防止燃料提前着火或在炉前料斗内燃烧和蔓延，生物质锅炉炉前料斗内应当设置较完善的燃料隔断和密封设施，生物质颗粒燃料锅炉常采用关风机式锁料装置或滚动式拨料装置进行燃料的隔断，如图1所示。

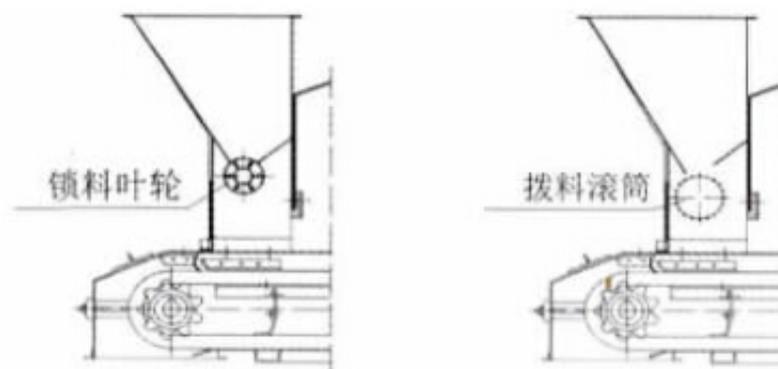


图1 燃料隔断装置

(3)锅炉热效率

目前的生物质层燃锅炉热效率往往较低，主要原因是生物质易燃且固定碳很少的特征，造成炉床局部燃烧激烈，大部分炉床只有少量固定碳在燃烧，因此生物质炉床的配风处理比较困难。为了保证充分燃烧，生物质锅炉的过量空气

系数普遍较高，造成锅炉的排烟损失大为上升。此外，生物质锅炉较易积灰，使得锅炉传热效果下降，这些都造成了生物质锅炉热效率下降。因此合理配置一次风和二次风，控制好风量、风压和进风位置，是提高生物质锅炉热效率的有效措施。此外，通过炉墙的合理布置，延长烟气在炉膛的滞留时间，保证挥发分得到充分燃尽。

布置合理的清灰装置，及时清理换热面的积灰，都可以大大提高锅炉的热效率。

(4) 炉膛容积、炉排面积

与燃煤锅炉相比，生物质锅炉炉膛容积需要增加很多，以适应生物质燃料高挥发分的特征，降低炉膛温度，防止炉内结焦挂渣，减少NO_x的产生。由于生物质固定碳含量较低、易燃尽，生物质锅炉炉排面积可适量减小。

(5) 炉墙、配风

生物质燃烧一般可以分为三个区域——气化区、燃烧区和燃尽区，可以通过炉墙将炉膛划分出这3个部分，分别为燃料干燥和挥发分析出、挥发分燃尽、固定碳燃烧及固定碳燃尽的区域。一般来说，生物质燃料易着火，所以炉膛的绝热度相对可以低些，前拱可以高且短，后拱覆盖面也可以减少很多，但合理布置中隔墙可以延长烟气在炉膛内的燃烧时间，保证烟气的充分燃尽。

合理配风是烧好生物质的基本条件，由于挥发分高且析出迅速，通过二次风进行炉膛烟气扰动是使挥发分完全燃烧的有力措施。常见生物质燃料的理论空气量为4~5m³/kg，过量空气系数控制在1.4左右为佳，二次风约占总风量的25%~30%，二次风应当布置在燃料气化区的出口或上部。

(6) 炉排速度

炉排速度是燃料供应量的保证。一般生物质燃料的自然堆积密度都很小，为了满足锅炉出力的需要，必须具有足够快的炉排速度作为支撑。表2列出了几种常见生物质燃料燃烧时的料层厚度和炉排速度。

表2 常见生物质燃料燃烧时的料层厚度和炉排速度

燃料名称	低位热值 /(kJ·kg ⁻¹)	自然堆积密度 /(kg·m ⁻³)	料层厚度 /mm	炉排最快速度 /(m·h ⁻¹)
II类烟煤	18 850	750~1 000	80~90	4
稻壳	14 360	123	160~180	16
废木片	18 500	<300	180~200	6
锯末	18 500	240	120~150	10
切碎农作物秸秆	15 000	100	180~200	20
木质颗粒	18 500	>600	80~100	4.8
秸秆颗粒	15 000	>600	80~100	5.2

从表2可见，由于生物质自然堆积密度过小及热值偏低，需要提高料层厚度和炉排速度方能满足燃烧量的需求，但过高的炉排速度会直接影响生物质中固定碳的完全燃烧，这也是造成生物质锅炉热效率低的一个原因。将生物质固化成成型颗粒可以很好地解决这一问题。

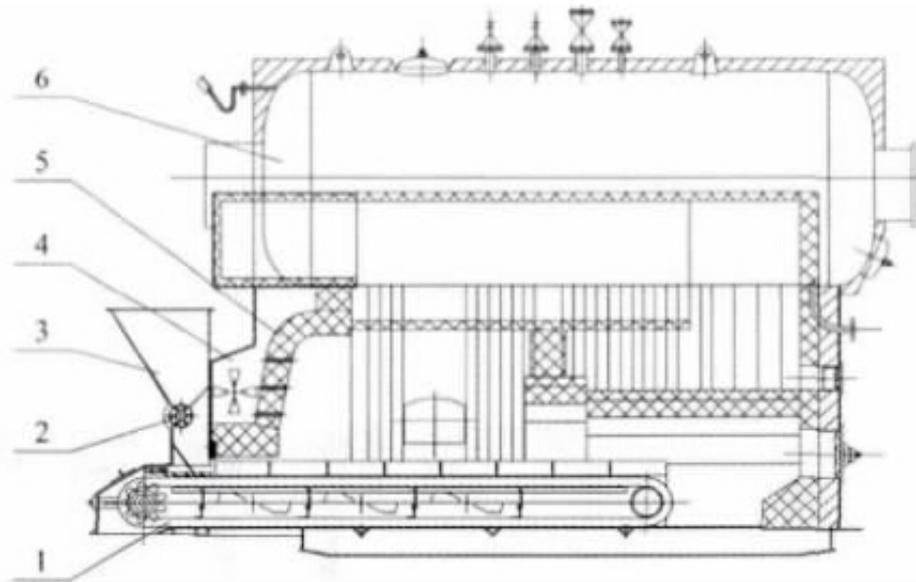
(7) 锅炉除渣、除尘

生物质燃料锅炉的烟尘中硫氧化物、氮氧化物的含量较低，但粉尘含量相对较大，且粉尘密度、粒径都很小，离心式除尘装置效率较低，比较有效的方法是采用布袋除尘器，为了防止大颗粒火星进入布袋，可以离心除尘和布袋除尘联合使用。一般来说，锅炉除尘可根据当地环保要求配置水膜除尘器或布袋除尘器，在环保要求高的地区可配置布袋除尘装置。

由于木质生物质燃料的灰分含量很低(2%左右)，因此锅炉排渣系统可采用水力冲刷、气力吹扫或人工清理，一般情况下，容量10t/h以下的锅炉可采用人工清理，每班清理1~2次。

2.4 直燃式生物质层燃锅炉实例

表3、表4分别列出了一台DZL4—1.25—T燃生物质颗粒燃料蒸汽锅炉(见图2)的热力计算汇总和能效测试结果汇总。由测试数据可以看出，根据生物质燃料特性以及生物质层燃锅炉特殊结构进行设计的燃生物质颗粒燃料蒸汽锅炉，已经可以满足正常使用的要求。



1—链条炉排 2—锁料叶轮 3—料斗
4—二次风室 5—前拱 6—锅筒

图2 DZL 4—1.25—T 燃生物质蒸汽锅炉

表3 DZL 4—1.25—T 燃生物质蒸汽锅炉热力计算汇总

名称	单位	炉膛	燃尽室	锅炉管束 I	锅炉管束 II	省煤器
入口烟气温度	℃	1 532.17	1 057.472	778.472	395.69	283.427
出口烟气温度	℃	1 057.472	778.472	395.69	283.427	164.199
受热面积	m ²	8.48	14.63	43.04	27.87	35.2
吸热量	kcal/kg	1 310.989	732.665	920.418	253.173	269.53
烟速	m/s	-	-	6.123	7.767	12.814
传热系数	kcal/(m ² ·h·℃)	-	-	43.562	48.109	31.612
工质入口温度	℃	193.466	193.466	193.466	193.466	20
工质出口温度	℃	193.466	193.466	193.466	193.466	67.242
温压	℃	-	-	360.757	138.752	177.969

表4 DZL 4—1.25—T 燃生物质蒸汽锅炉的能效测试试验结果汇总

测试次数	锅炉出力/ (kg·h ⁻¹)	正平衡效率 η ₁ /%	反平衡效率 η ₂ /%	平均效率 η _{1,2} /%	排烟温度 t _p /℃	排烟处过量 空气系数 α _p	炉渣可燃物 含量 C _{1z} /%
1	4 018.25	78.82	-	78.82	165.6	1.65	-
2	4 024.13	80.14	-	80.14	165.8	1.65	-
锅炉平均出力		4 030.19 kg/h		锅炉效率	79.48%		

3结论

生物质燃料在环保、经济性等方面有许多优点，生物质工业锅炉的应用也越来越普及。然而我国生物质燃料的利用起步较晚，生物质颗粒的生产、生物质工业锅炉技术还不太成熟。目前市场常见的锅炉大都是由燃煤锅炉改型而来，实践证明，保留燃煤特征的锅炉要烧好生物质是有难度的，但是可以相信，生物质燃料和生物质工业锅炉在不远的将来一定会有一个更大的发展。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/93005.html>