

# 生物质压缩成型技术

## 1 压缩成型原理

生物质主要有纤维素、半纤维素和木质素组成。木质素为光合作用形成的天然聚合物，具有复杂的三维结构，属于高分子化合物，它在植物中的含量一般为15%~30%。木质素不是晶体，没有熔点但有软化点，当温度为70-110℃时开始软化，木质素有一定的黏度；在200-300℃呈熔融状、黏度高，此时施加一定的压力，增强分子间的内聚力，可将它与纤维素紧密粘接并与相邻颗粒互相黏结，使植物体变得致密均匀，体积大幅度减少，密度显著增加，当取消外部压力后，由于非弹性的纤维分子之间相互缠绕，一般不能恢复原来的结构和形状。在冷却以后强度增加，成为成型燃料。压缩时如果对生物质原料进行加热，有利于减少成型时的挤压力。

对于木质素含量较低的原料，在压缩成型过程中，可掺入少量的黏结剂，使成型燃料保持给定形状。当加入黏结剂时，原料颗粒表面会形成吸附层，颗粒之间产生引力，使生物质粒子之间形成连锁的结构。这种成型方法所需的压力较小，可供选择的黏结剂包括黏土、淀粉、糖蜜、植物油和造纸黑液等。

## 2 压缩成型生产工艺

压缩成型技术按生产工艺分为黏结成型、压缩颗粒燃料和热压缩成型工艺，可制成棒状、块状、颗粒状等各种成型燃料。

生物质—干燥—粉碎—调湿—成型—冷却—成型燃料

主要操作步骤如下：

### (1) 干燥

生物质的含水率在20%-40%之间，一般通过滚筒干燥机进行烘干，将原料

的含水率降低至 8%-10%。如果原料太干，压缩过程中颗粒表面的炭化和龟裂有可能会引起自燃；而原料水分过高时，加热过程中产生的水蒸气就不能顺利排出，会增加体积，降低机械强度。

## （2）粉碎

木屑及稻壳等原料的粒度较小，经筛选后可直接使用。而秸秆类原料则需通过粉碎机进行粉碎处理，通常使用锤片式粉碎机，粉碎的粒度由成型燃料的尺寸和成型工艺所决定。

## （3）调湿

加入一定量的水分后，可以使原料表面覆盖薄薄的一层液体，增加黏结力，便于压缩成型。

## （4）成型

生物质通过压缩成型，一般不使用添加剂，此时木质素充当了黏合剂。生物质压缩成型的设备一般分为螺旋挤压式、活塞冲压式和换模滚压成型。

螺旋挤压机源于日本，是目前国内比较常见的技术，生产的成型燃料为棒状，直径 50-70mm。将已经粉碎的生物质通过螺旋推进器连续不断推向锥形成型筒的前端，挤压成型。因为生产过程是连续进行的，所以成型燃料的质量比较均匀，外表面在挤压过程中发生炭化，容易点燃。但是，由于螺杆处在较高温度和压力下工作，螺杆与物料始终处于摩擦状态，导致压缩区螺纹的磨损非常严重。当螺杆磨损到一定程度，螺杆与出料筒失去尺寸配合，原料就无法完成成型。因此，压缩区螺纹的磨损决定了螺杆的使用寿命，螺杆使用寿命成为生物质压缩成型技术实用化决定性因素。对螺杆磨损，由于受工艺技术的制约，目前没有从根本上解决问题，平均寿命仅为 60-80h。

活塞冲压机首先将已经粉碎的生物质通过机械送入预压室形成预压块，当活塞向后退时，预压块进入压缩筒，当活塞向前运动时，将生物质挤压成型，然后送入保型筒。活塞冲压机通常不使用电加热装置，工作为间断式冲压，容易出现不平衡现象，成型燃料的密度稍低，容易松散。

对于环模滚压成型机，松散的生物质被送入压模和滚筒之间的空腔，在滚筒的压力作用下被挤入成型机，压缩成颗粒状，可调整的刀具将其切割成合适的长度。环模滚压成型机可分为卧式和立式两种。

### (5) 冷却

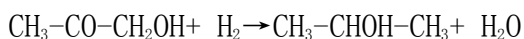
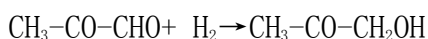
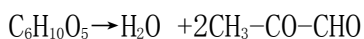
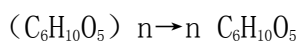
生物质在压缩成型时，其温度会升高（通常为 90-95℃），通风冷却后可以提高成型燃料的持久性。

原料种类、含水率、温度和粉碎程度将影响成型燃料的质量。生物质成型燃料生产线产量一般为 4t/h，能源消耗量大约 80-130kWh/t，实际功率受生产等因素的影响。

## 生物质热解技术

### 1. 生物质热解的原理

生物质热解是复杂的热化学反应过程，包含分子间断裂、异构化和小分子聚合等反应。木材、林业废弃物和农业废弃物的主要组分是纤维素、半纤维素和木质素。根据热重分析表明纤维素在 325K 时开始热分解，随着温度升高讲解逐步加剧，至 623~645K 时降解为低分子碎片，其降解过程为



半纤维素结构上带有支链，是木材中最不稳定的组分，在 225~325℃ 分解，比纤维素更易热分解，其热解机制与纤维素相似。

### 2. 生物质热解的过程和产物

热解过程中生物质中的碳氢化合物都可转化为能源形式。通过控制反应条件（主要是加热速率、反应气氛、最终温度和反应时间），可得到不同的产物分

布。根据热解过程的温度变化和生成产物的情况等特征，可以划分为以下 4 个阶段。

#### (1) 干燥阶段

温度为 120~150℃，热解速度非常缓慢，过程主要是木材含水分依靠外部供给的热量进行蒸发。

#### (2) 预炭化阶段

温度为 150~275℃，木材的热分解反应比较明显，木材的化学组分开始发生变化，其中不稳定组分（如半纤维）分解生成 CO<sub>2</sub>、CO 和少量醋酸等物质。

上述两个阶段需要外界提供热量以保证温度上升，为吸热反应阶段。

#### (3) 炭化阶段

温度为 275~450℃，木材急剧地进行热分解，生产大量的分解产物，这一阶段放出大量反应热，为放热反应阶段。

#### (4) 煅烧阶段

温度为 450~500℃，依靠外部供给热量进行木炭的煅烧，排除残留在木炭中挥发物质，提高木炭中固定炭含量。

以上四个阶段的界限难于明确划分。此外，由于干馏釜各个受热的情况不同，木材热导率较小。因此不同位置的木材甚至大块木材的内部和外部，也可能处于不同的热解阶段。

生物质热解可以得到固体、液体和气体三类初产物。

①固体。生物质热解时残留在干馏釜内的固体产物为木炭。木炭疏松多孔，是制造活性炭、二硫化碳的原料。

②液体。从木材干馏设备导出的蒸气气体混合物经冷凝分离后，可以得到液体产物（粗木醋液）和气体产物（不凝性气体或生物质燃气）。粗木醋液是棕黑色液体，除含有大量水分外，还含有 200 种以上的有机物，其中一些化合物包括饱和酸、不饱和酸、醇酸、杂环酸、饱和醇、不饱和醇、酮类、醛类、脂类、酚类、内酯、芳香化合物、杂环化合物及胺类。

以阔叶材为类，干馏时得到的粗木醋液澄清时分为两层，上层为澄清木醋液，下层为沉淀木焦油。澄清木醋液是从黄色到红棕色的液体，有特殊的烟焦气味，主要含有 80%~90%的水分和 10%~20%的有机物。澄清木醋液进一步加工处理可得到醋酸、丙酸、丁酸、甲醇和有机溶剂等产品。沉淀木焦油是黑色、粘稠的油状液体，其中含有大量的酚类物质，经加工可得到杂酚油、木馏油、木焦油抗聚剂和木沥青等产品。

③气体。干馏得到的可燃气体主要成分为 CO<sub>2</sub>、CO、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 和 H<sub>2</sub> 等，其产量与组成因温度和加热速度不同而各异。

### 3. 影响生物质热解的因素

#### (1) 热解的最终温度

生物质热解的最终温度对热解产物产量、组成有着较大的影响。实验表明，木炭的产量随着温度的升高而逐渐降低，在 270~400℃ 的温度范围内降低较大，而在 400~700℃ 的温度范围内则降低较慢。随着最终温度的升高，木醋液的组成也在不断的变化，在 270~400℃ 的温度范围内组成变化较大，而当温度高于 400℃ 时组分变化不显著。因此，如果以制取醋酸和甲醇为目的，热解的最终温度应限制在 380~400℃ 之内。

#### (2) 升温速度

加热速度对热解的各个阶段也有一定的影响。当加热速度增加时，焦油的热

量将显著增加，而木炭产量则大大地降低。因此，如果以最大限度的增加木炭的产量，应采用低温、低传热速率（长滞留期）的慢速热解方式，其质量产率和能量产率分别可达到 30%和 50%；而如果以尽最大可能获得生物原油，则应采用具有较高传热速率的快速热解方式，生物原油的产率可达到 80%。

### （3）压力

压力对生物质热解过程的影响较大。例如，木材在 1.33Pa 的真空状态下热解时，几乎不释放出热量；而在 3.15Mpa 热解时，将释放出大量热量，可以认为一次产物进行二次、三次分解或聚合反应是放热的主要原因。对于热解产物，当压力升高时，蒸汽在设备中与木炭相接触的时间较长，将会增加木炭的产量，从而降低焦油的产量。

### （4）含水率

生物质水分含量将直接影响热解时间和所需热量。当生物质含水率较高时，热解所需的时间较长，而且热解反应所需的热量也要增加。当生物质含水率较低时，虽然可以缩短热解的时间，但不能过于干燥。例如，木材干馏时，较干的木材在放热阶段会过于猛烈，降低木炭的产量和机械强度。

### （5）原料的形态

木材的形态对木材干燥、热解过程、热解产物的产量和质量也有较大的影响。木材的导热性差，沿纤维方向的热导率比与纤维垂直方向的热导率大，此外树皮会妨碍热传导。因此，锯断、劈开及剥皮都可以加快木材干燥和热解进程。

### （5）反应的气氛

木材在通常条件下热解得到的产品，除木炭以外，其他产品产量都是比较低的。为了提高其它产品的产量，采用了多种反应气氛，并进行了大量的基础性研究工作。例如，为了获得组成均匀和提高醋酸产量，有人使用 250~270℃过热蒸汽处理云杉木屑和木片时，总得酸率约为 8.0%，用桦木木屑和木片作为热解原料，其总得酸率约为 10.5%~12%。

生物质气化过程中，无法避免的要产生焦油。焦油的成分非常复杂，大部分是苯的衍生物及多环芳烃，另外含量大于 5%成分还有苯、萘、甲苯、二甲苯、苯乙烯、酚和茚等，它们在高温状态下成气态，当温度降低至 200℃时凝结为液态。

焦油的存在影响了燃气的利用，其能量一般占燃气总能量的 5%，在低温时难以与燃气一起燃烧，降低了气化效率。而且，焦油容易与水、灰分和炭颗粒等杂质结合在一起，堵塞输气管道和阀门，腐蚀金属，影响系统的正常运行。实验表明，木材气化产生的焦油量远大于煤气化产生的焦油量，意味着煤气化去除焦油技术不经改进，不能直接应用于生物质。去除生物质燃气焦油的主要技术有水洗、过滤、静电除焦和催化裂解。