

生物质燃料固化成型环模参数化设计

谷志新¹, 杨迪², 徐凯宏¹

(1.东北林业大学机电工程学院, 黑龙江哈尔滨150040; 2.牡丹江大学机械工程学院, 黑龙江牡丹江157011)

摘要：我国在生物质燃料成型机的设计理论研究方面已经取得了很大的进步，但仍存在生产效率偏低、能耗偏高等缺点。参数化设计是利用先进的参数化设计软件Pro/Engineer优化参数，研究环模的力学特性，找到最佳的成型参数，建立环模的理想模型，计算相关结构参数，分析环模结构参数对生产效率、成型品质和成型机稳定性的影响。参数化设计可大大节约设计时间，增加模型的利用率，优化设计，加快环模成型机的产业化进程。环模是生物质燃料固化成型机的核心部件，环模的结构参数、力学特性直接影响着生物质成型燃料的质量、产量及生物质固化成型的产业化发展历程。

1 生物质燃料固化成型原理

黑龙江地区的生物质燃料固化成型常用的原料主要有玉米秸秆、锯末、稻壳、木屑等。固化成型技术将这些生物质原料用机械加压的方法，把松散、无定型、低热量的生物质原料固化成具有一定形状、密度较高、热值高的固体成型燃料^[1]。

生物

质固化成

型燃料（BBDF）成型后体积缩小为原来的1/8~1/6，密度达到0.9~1.1，其热值达14.644~16.736000MJ^[2]，如表1。

表1 生物质成型燃料与常规能源的性能
Table 1 Characteristic parameters of conventional fuels and biomass briquettes

	煤炭(Ⅱ类烟煤)	轻柴油	天然气	生物质成型燃料
密度/(kg·m ⁻³)	1 100~1 400	0.82	0.75~0.8	800~1 100
燃料发热量	17 572 800/(J·kg ⁻¹)	42 676 800/(J·kg ⁻¹)	35 982 400/(J·m ⁻³)	14 644 000/(J·kg ⁻¹)
CO ₂ 排放量/(mg·m ⁻³)	955	818	430	0
SO ₂ 排放量/(mg·m ⁻³)	900	160	0.10	46
NO _x 排放量/(mg·m ⁻³)	600	55	0.50	73.1

生物质原料中含有纤维素、半纤维素和木质素，占植物体成分2/3以上，如表2所示。木质素是具有芳香族特性的结构单体，为苯基丙烷型的立体结构高分子化合物；当温度为70~110℃时软化，具有黏性，达到140~180℃时就会塑化且粘结力增加，当温度达到200~300℃时软化程度加剧，黏性增高，此时施加一定压力，可使其与纤维素紧密粘结，从而使生物质原料成型，冷却后成成型燃料。

表2 生物质中纤维素、半纤维素、木质素的比例
Table 2 Ratios of cellulose, hemicellulose and lignin in biomass %

生物质	纤维素	半纤维素	木质素
玉米秸秆	25~25	15~25	12~18
木屑	40~50	25~35	25~35
软木	35~50	25~35	27~32

半纤维素由多聚糖组成，在贮存过程中易水解转变为木质素。它结合在纤维素微纤维的表面，并且相互连接。这些纤维构成了坚硬的相互连接的网络。

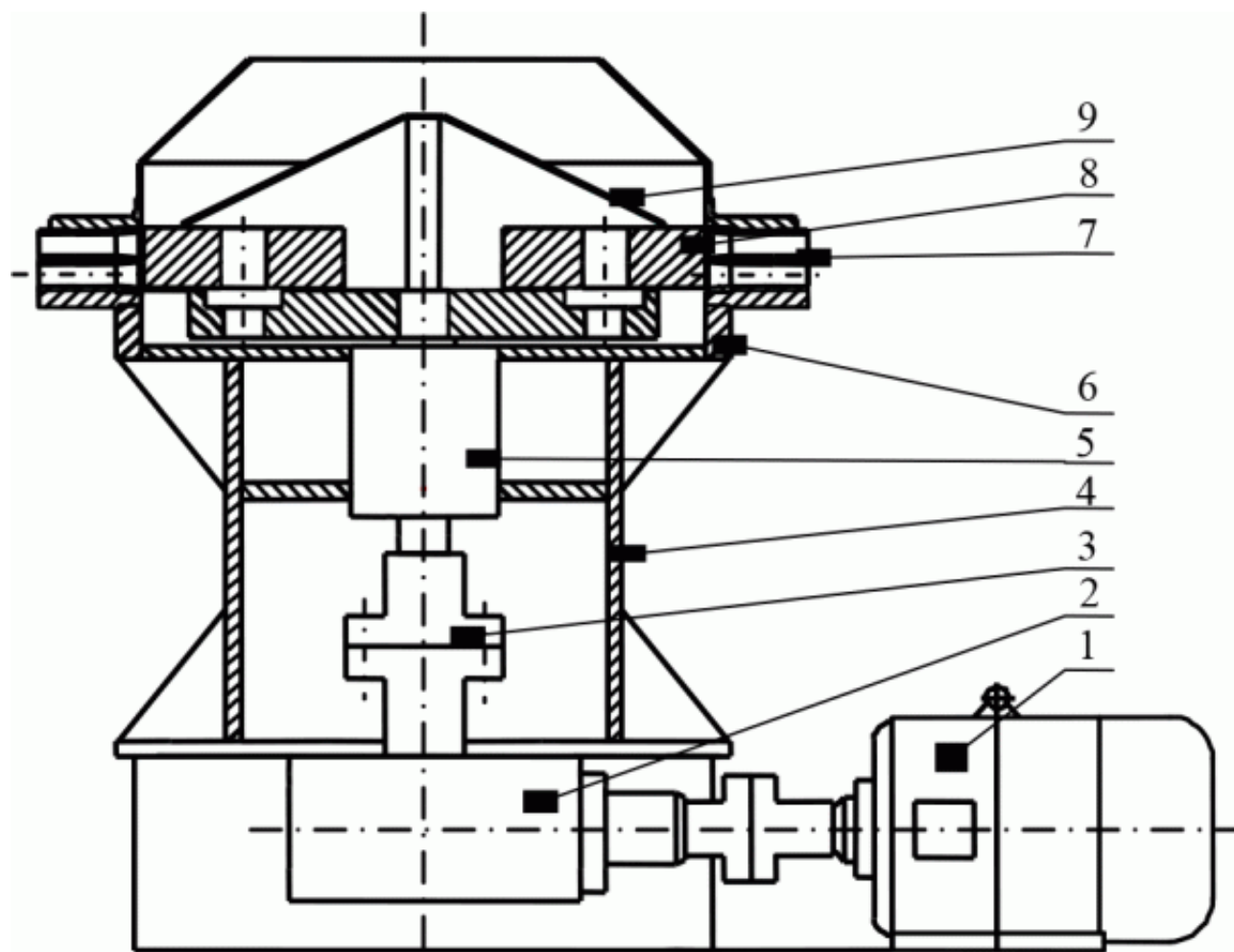
纤维素为葡萄糖组成的大分子多糖，是植物细胞壁中的主要成分，赋予植物茎弹性和机械强度。纤维素不溶于水及有机溶剂，对热的传导作用轴向比横向大，并且与纤维孔隙度有关。

质地松散的生物质原料在受到一定的外部压力后，原料成型先后经历重新排列位置关系、成型机械变形和塑性流变等阶段。在垂直于最大应力方向上，物料粒子主要以相互啮合的形式结合，而在垂直于最小应力方向上，物料粒子主要以相互靠紧的形式结合，从而使生物质体积大幅度减小，密度显著增大。

2环模成型机成型过程分析

成型机根据压模形状的不同，可分为平模成型机和环模成型机。环模成型机由于其产量高，环模易更换等优点是目前使用最为广泛的机型^[3]。

环模成型机整机结构如图1。核心部件是环模和压辊，环模的周围有许多模孔。成型时，加工成小段的生物质原料被送入环模压缩室内，然后电机带动环模作等速顺时针回转，物料被转动着的环模带入压辊和环模之间，使环模与物料，压辊与物料，物料与物料之间相互产生摩擦，使物料中的纤维素、半纤维素相互结合在一起，摩擦产生的热量使木质素软化，作为黏结剂，把纤维素、半纤维素黏结在一起。其次通过模辊间的物料及其摩擦力使安装在环模内的压辊自转，当挤压力大于摩擦力时，将物料挤压到环模模孔中，向外挤出，成型。



1-电机; 2-变速器; 3-联轴器; 4-机架; 5-轴承定位;
6-压辊载体; 7-成型模具; 8-压辊; 9-环形分料器

图 1 CXJ1 500 立式环模成型机原理图

Fig.1 Schematic diagram of an annular-mould machine

3环模的结构参数对成型的影响

环模的结构参数直接影响成型燃料的性能、环模的使用寿命和产量，从而影响生物质燃料加工的生产成本。

环模结构参数主要包括：

(1) 模孔有效长度 (L)

模孔有效长度即物料固化成型的模孔长度。有效长度越长，物料在模孔内的成型时间越长，成型后的燃料越坚硬，强度越高。

(2) 模孔长径比 (L/d)

模孔长径比即模孔有效长度L与模孔直径d之比[4]。长径比越大，燃料产品密度越大，燃料越结实，表面硬度也越高，相应的能耗大，产量小，反之亦然。选择多大的长径比与环模材料、模孔、直径、生产品种等很多因素有关。其取值范围一般在5~13之间。

(3) 环模孔形

常见的环模模孔主要有直形孔、阶梯形孔、外锥形孔和内锥形孔等。阶梯形孔又分为释放式阶梯孔和压缩式阶梯孔。混合物料适合选用圆柱孔，脱脂糠等高纤维物料适合选用外锥形孔，内锥形孔适宜牧草类体积大的物料。

(4) 环模厚度 (T)

环模厚度与固化过程的压力、物料特性、能耗、模孔有效长度、环模强度以及减压孔深度等因素有关。环模厚度大，孔径越小，孔壁阻力越大，强度和刚性大，成形燃料密度也大。根据经验分析，环模厚度为32~127mm[5]。

(5) 环模模孔粗糙度

同样的压缩比下，粗糙度越大，颗粒燃料挤出阻力越大，出料越困难。按照国家标准模孔粗糙度应为1.6。

(6) 模孔的排列和开孔率

模孔一般沿周向排列。模孔通常有两种排列方式：排成比较整齐的阵列或者错位排布。为了使物料能相对均匀地进入模孔，一般都错位排列，可以按等边三角形布孔，亦可以按等腰三角形布孔，如图2所示。

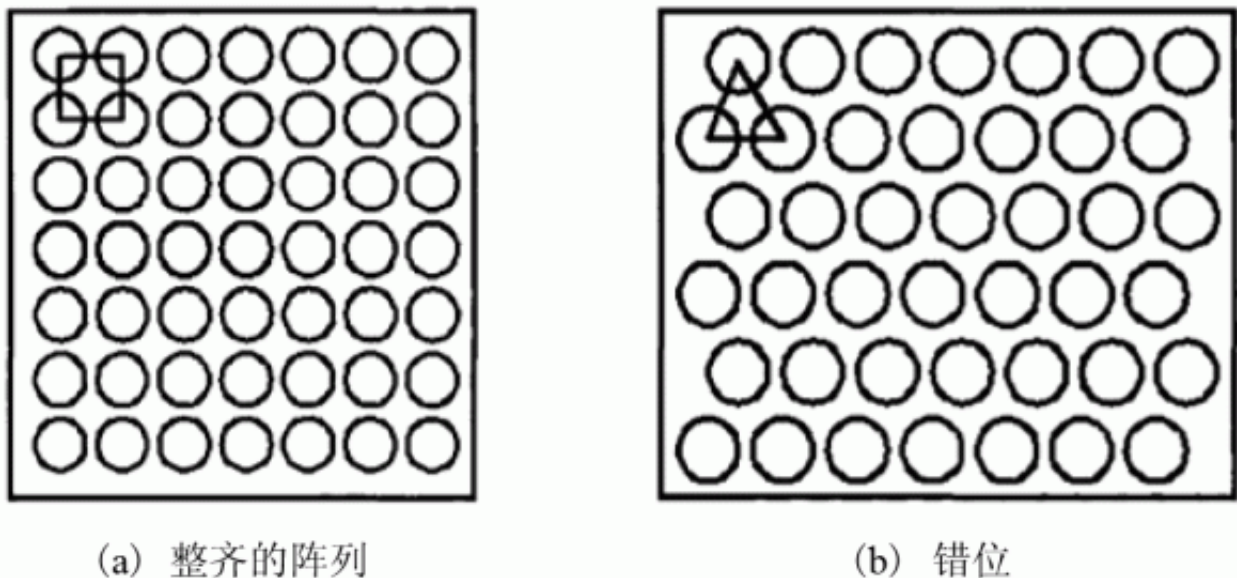


图2 模孔的排列方式

Fig. 2 Arrangement of the holes

环模开孔率即环模模孔总面积和环模有效总面积之比。开孔率高，生产率大，但加工工艺较复杂。设计开孔率时要参考模孔间足够的抗断能力和结构强度。

当模孔直径确定时，要提高环模的开孔率，就要相应减小模孔之间的壁厚。通常模孔直径可以在2~20mm范围内，根据模孔直径的不同，环模表面上的开孔率为20%~30%。

根据等边三角形原理，可以计算出环模开孔率 [6]

根据等边三角形原理, 可以计算出环模开孔率^[6]

$$K = \frac{\pi d^2}{4(\delta + d)L} \quad (1)$$

式中, d 为模孔直径, mm; δ 为相邻两孔内侧的孔壁厚度(一般为 2.3~5 mm, 不小于 1.5 mm, 根据孔径大小而定, 孔大取大值, 孔小取小值); L 为相邻两孔的中间距, 即

$$L = \frac{\pi\sqrt{3}}{n}(r + 0.5\Delta H)$$

其中, r 为环模工作半径, mm; ΔH 为允许磨损量, mm; n 为行内模孔数^[7]。

(7) 环模线速度

环模线速度指环模内圆切线速度。设计环模转速时还要考虑成型产量、生物质成型率、不同原料配方、离心力等因素。

模孔直径小的环模, 应采用较高的线速度, 而模孔直径大的环模则应采用较低的线速度。

在一定范围内, 环模的线速度提高, 产量增大, 能耗提高, 成型的硬度和粉化率指数上升。一般认为, 模孔直径为 3.2~6.4mm 时, 环模的最高线速度可达到 $10.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 模孔直径为 16~19mm 时, 最高线速度应限制在 $6.1 \sim 6.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

4 目前生物质环模成型技术存在的问题

根据前面的分析, 影响环模固化成型的主要因素有: 环模的尺寸和形状、成型温度、物料种类、物料粒度、成型压力等。目前的生物质环模成型技术还存在着如下问题: 环模是成本昂贵的易损件, 连续工作时间较短, 磨损严重。对环模的研究, 大

都是在实验中对环模进行定性分

析。国内开发的固化成型机生产率低 ($80 \sim 100 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$), 规模小、能耗大、成本较高。

本文对环模进行参数化设计, 将环模的设计要求、设计原则、设计方法和设计结果用灵活可变的参数来表示, 以便根据实际情况随时加以更改, 以大大地缩短产品生产周期, 提高产品方案设计稳定性, 从而在整个产品生命周期内减少失误, 大大提高设计质量。

5 参数化设计

参数化设计 (Parametric Design) 是全相关和系列化设计的技术基础。PTC 公司的 Pro/Engineer 软件是基于特征造型的参数化设计系统, 用以实现机械设计的自动化。

Pro/E 将设计和生产过程集成在一起, 让所有用户同时进行同一产品的设计制造工作, 改变了机械设计的自动化 (MDA, Mechanical Design Automation) 的传统观念的 3D 产品开发软件。3D 实体模型可以将用户的思想以最真实的模型在计算机中表现出来, 支持同步设计的功能。

环模的主要技术参数包括环模转速、环模压缩比、环模开孔率及环模与压辊之间的间隙、外圆半径、环模厚度、环模边缘长度、环模边缘厚度、环模模孔半径等, 初始值如图 3 所示。首先对这些技术参数进行优化, 在 Pro/E 环境下实现环模的三维建模。

在参数化设计中, 需要将参数和模型的尺寸相关联, 通过编辑关系式来实现。创建关系时, 模型上的尺寸将以代号形式显示, 然后通过关系式将参数与模型的尺寸关联。设置基本的参数和关系后, 按照 Pro/E 的建模过程进行环模的三维实体建模, 最终完成的环模实体如图 4 所示。参数化设计可以大大节约设计时间, 提高模型的利用率, 优化设计, 加快环模成型机的产业化进程。

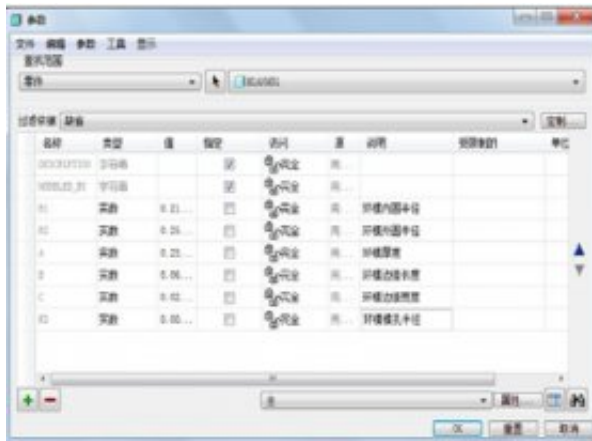


图 3 环模“参数”对话框

Fig. 3 Dialog box for ring mould "parameters"

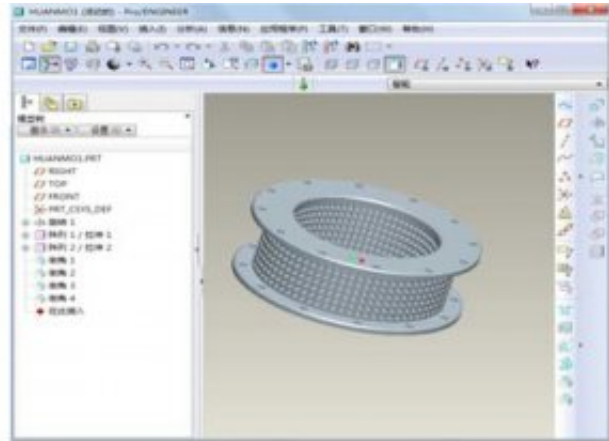


图 4 环模三维实体建模图

Fig. 4 Model for the three-dimensional entity

6结束语

通过对成型环模机理分析与数值分析，利用先进的参数化设计软件Pro/E优化建立环模模型，分析成型过程中环模在应力作用下的变形情况，对相关结构参数进行了计算，并分析了环模结构参数对生产效率、成型产量、成型品质和成型机稳定性的影响。本文的研究旨在为环模成型机的设计和制造提供理论依据，参数化设计可提高模型的利用率，优化设计。

参考文献：

- [1]邓可蕴.中国农村能源综合建设理论与实践[M].北京：中国环境科学出版社，2001.
- [2]林维纪，张大雷.生物质秸秆固化成型技术的几个问题[J].农村能源，1998，16（2）：16-17.
- [3]刘微.环模压块机压缩室结构设计[J].农业装备技术，2006，32（6）：48-49.
- [4]王冬梅.基于ANSYS的生物质成型机的研制[D].长春：吉林大学，2007.
- [5]吴劲锋.制粒环模磨损失效机理研究及优化设计[D].甘肃：兰州理工大学，2008.
- [6]马孝琴.生物质成型燃料燃烧动力学特性及液压秸秆成型机改进设计研究[D].河南：河南农业大学，2002.
- [7]朱海涛.生物质燃料颗粒成型机的研究与试验[D].黑龙江：哈尔滨工程大学，2008.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/133115.html>