

## 模辊式生物质燃料成型技术及设备的研究进展

郝玲，祖宇，董良杰

(吉林农业大学，吉林长春130118)

**摘要：**从模辊式生物质燃料成型技术的起源、设备类型与特点以及影响因素、成型机理、设备和关键部件的研究现状等方面进行了总结，分析了模辊式生物质燃料成型技术与设备的发展潜力、遇到的问题及研究成果，并对今后研究方向及设备结构的优化提出了看法。

在全球的能源危机和生态环境不断恶化的双重压力下，生物质能作为一种既清洁又可再生的能源受到了世界各国的关注，开发生物质能取代常规能源已刻不容缓。全球丰富的生物质资源是未来能源强有力的后盾，但据调查显示每年光合作用产生的约1700亿t生物质其利用率仅占总量的1%。因此，如何开发生物质能燃料并对其进行高效的转换和利用已成为当今社会一个重要的研究课题<sup>[1]</sup>。

模辊式生物质燃料成型技术是生物质能的预处理技术——固化成型技术中的一种。模辊式生物质燃料成型技术利用压模与压辊之间的摩擦力与挤压力在常温下使粉碎后的生物质原料不断的被压紧，进入模孔后颗粒位置及其间隙重新排列并发生机械变形和塑性变形，经历成型、保型等过程，最终被压缩成为形状规则、密度较大、燃烧值较高的块状或颗粒状高密度成型燃料<sup>[2]</sup>

。模

辊挤压成

型技术以其产量高

、能耗相对螺旋挤压和活塞冲压技术

低等特点在生物质固化成型技术中脱颖而出<sup>[3]</sup>，成为了当前研究和开发的热点<sup>[4]</sup>

。模辊式成型设备加工工艺多属冷压成型加工工艺，与热压成型工艺相比减少了环境污染且效率高，其能够适应的原

<sup>[5]</sup>

，开展模辊式生物质燃料成型技术及设备的研究具有重大的现实意义。为此，笔者综述了模辊式生物质燃料成型技术的起源、设备类型与特点以及影响因素、成型机理、设备和关键部件等方面的研究进展，并对今后的研究方向和设备结构的优化提出了建议。

### 1 模辊式生物质燃料成型技术的起源

生物质颗粒燃料的模辊挤压成型技术是在颗粒饲料生产技术基础上发展起来的，但由于其压缩的原材料性质和产品用途的不同，颗粒饲料生产技术中的研究

一般不可应用到颗粒燃料的生产中<sup>[6]</sup>

。国外生物质燃料成型技术发展非常早，从20世

纪40年代已初具规模<sup>[5]</sup>

。随着技术的不断发展，20世纪70年代初美国成功研发了环模挤压式颗粒成型机，随后瑞士、瑞典、西欧的比利时、法国、德国等国也都相继

开始重视压缩成型燃料技术的研究，并研发模辊挤

压式颗粒成型机<sup>[7]</sup>

。20世纪70年代后期在欧洲和东南亚国家使用较为广泛的颗粒燃料成型机是由德国卡尔公司研发出的动辊式平模制粒机，其成品产量大、质量好、密度大且能耗低。20世纪80年代日本拥有了采用环模颗粒成型机加工木屑成型燃料的大型生产企业<sup>[3]</sup>

，并进行了生物质压缩过程的试验研究，分析了工艺参数和结构参数对成型质量及动力消耗的影响，并通过改进使生物质压缩成型技术更加的实用化<sup>[8]</sup>

。与国外相比，我国对成型燃料的研究较晚，与发达国家有一定差距。从20世纪80年代开始，南京林业化工研究所才设立了对生物质致密成型机及生物质成型理论的研究课题<sup>[9]</sup>。

随后国家林业局在1994~1998年期间实施“林业剩余物制造颗粒成型燃料技术研究”项目，以木屑和刨花为主要原料开发出了颗粒燃料成型机；农业部结合我国实际情况在2000年对引进的德国卡尔公司的38-780型大型平模制粒机进

行了多处技术改进和创新,研制出了具有自主知识产权的SZLP-780型平模制粒机<sup>[3]</sup>

;进入21世纪后,随着农村经济的发展和国家粮食补贴政策的实施,生物质成型技术和设备的研究得到了较好的支持与发展。总的来说,国外的技术及设备已成熟并形成产业化,具有工艺先进、专业化程度高、操作自动化程度高等优点,而我国真正寿命长、低能耗并适用于多种原料的成型设备非常缺乏<sup>[10]</sup>。

## 2模辊式生物质燃料成型设备的类型及特点

目前模辊式燃料成型设备有环模机和平模机2种,其中环模成型机多为卧式;平模成型机则一般为立式。环模成型机产量大、能耗低,但由于结构的限制,其压力不可调,使得设备主要工作部件磨损严重,更换部件成本高。平模颗粒机由于转速低,使其可压制密度较大的颗粒燃料,简单的结构使其压力可调,压辊的半径不受模具的限制,加大了轴承承受力,提高了设备的寿命,压力大,对原料的适应性广<sup>[11]</sup>。

模辊挤压成型设备主要结构有定平模式成型机、定环模式成型机和动环模式成型机3种,模孔形状的不同则可生产出块状或颗粒状的成型燃料。定平模式成型机用于生产颗粒状燃料;定环模式成型机既可生产颗粒状燃料又可生产块状燃料;动环模式成型机用于生产块状燃料。定平模式成型机设备根据其部件的运动状态有动辊式、动模式、模辊双动式3种,较大机型一般用动辊式。随着技术的不断改进,锥辊式成型机的出现改善了直辊式成型机的工作原理,使得其辊上各处线速度相等,无额外的摩擦力,减少了模辊之间辊的差速运动造成的摩擦,降低了模的磨损度,所以按其压辊部件的不同又分为直辊式和锥辊式成型机。

## 3影响因素

原料特性、成型压力、温度、设备的性能及其结构参数等是影响生物质压缩成型、颗粒燃料品质、成型率、产量及能耗的主要因素。

原料的特性包括种类、含水率、粒度大小和均匀性。原料种类不同,其压缩成型特性有很大差异,如木材废料较难压缩,而纤维状的植物秸秆易压缩,但经高温作用后木材中的木质素能起到粘结剂的作用,比纤维状的秸秆植物易成型,原料种类的不同会影响到成型颗粒的密度、强度、热值等,且影响成型机的产量及动力消耗;原料的含水率在模辊式成型技术中要求较宽,含水率在10%~40%,最佳含水率为18%;原料粒度大小和均匀性不仅影响颗粒燃料的成型质量还影响成型机的效率、产量及能耗,研究表明原料粒度越大成型机效率越低,能耗越大,产量越小,而原料粒度差异大时,易导致成型物表面有裂纹的产生,使其密度和强度降低,最适宜的粒度在10mm左右<sup>[12-15]</sup>。

成型压力是植物材料压缩成型最基本的条件。原材料被施加足够的压力后才能够成型,压力不足时将不能成型,而压力到达一定值后继续增加,成型燃料密度的增加会变得缓慢。

温度在原料成型过程中起重要作用。在模辊式成型设备的工作过程中,模辊的相互摩擦及高压作用会使生物质燃料的温度迅速升高,温度的升高既使原料中含有的木质素软化,起到粘结剂的作用,又使原料本身变软,变得易压缩。

设备性能参数主要有模辊间隙、主轴转速等。模辊间隙对成型率影响很大,间隙越大,成型率越低,且最优值为0.2mm。主轴转速对生产率、能耗影响较大,转速越快,生产率越大,能耗降低;对成型燃料品质影响不大<sup>[16-18]</sup>。

设备结构参数主包括压辊、压模和模孔的结构参数。压模的孔形、厚度、开孔率以及模孔的排列方式、长径比对结构强度及使用寿命有很大影响,且直接影响制粒质量、生产率及能耗。压模的孔径太小、厚度太大会使生产效率降低,且增加其成本费用,但如果孔径太大、厚度不够就会使成型颗粒密度松散,影响成型燃料的质量;开孔率的选择要在保证压模结构强度的条件下尽可能的增加开孔率来提高生产率;不同类型的原料选用的模孔长径比不同;此外,环模孔的形状对环模强度的影响较大;椭圆孔环模的强度是圆孔环模强度的1.5倍,但其加工工艺困难,一般不用于实际生产<sup>[19]</sup>。

4国内外成型机理的研究现状生物质压缩成型机理的研究对于成型技术和设备的研究和开发具有引导作用。国内外许多学者都对生

物质压缩成型机理进行了试验研究或数值模拟。在压缩成型机理的宏观方面,Jens等<sup>[20]</sup>

建立了物料通过环模

模孔时的挤压力模型,并进行了试验验证

;在微观成型机理方面,Lindley等<sup>[21]</sup>

认为生物质成型制品的密度和强度虽然与含水率、压力、温度以及添加剂等因素有关,但生物质成型物内部的成型机制都可用5种粘结力(固体颗粒桥接或架桥、非自由移动粘结剂作用的粘结力、自由移动液体的表面张力和毛细压力、粒子间的范德华力或静电力、固体粒子间的充填或嵌合)中的1种或1种以上的粘结力来解释<sup>[22]</sup>,但未对微观机理进行深入探讨和研究<sup>[23]</sup>。

王冬梅等<sup>[24-25]</sup>利用AN-SYS软件对挤压过程进行了有限元模拟,通过研究压缩成型过程中荷载的变化规律,得到了整个成形过程中制品内部应力应变的演化过程。高建辉<sup>[26]</sup>

推导出了生物质弹

塑性变形的本构方程,重点研究了生

物质成型过程中的形变、流变规律。陈晓青<sup>[27]</sup>

研究了生物质

成型过程中的木质素粘结作

用、粒子结合方式、水分含量和电势变化4个方面。吴云

玉等<sup>[28]</sup>

对环模固化成型压缩阶段的微观成型机理进行研究,建立了从宏观到微观的过渡成型机理,强调了压缩过程中纤维素和半纤维素的“钢筋”骨架作用,揭示了生物质固化成型燃料燃烧值高、燃点低的原因;并通过利用有限元软件Ansys对生物质成型过程的模拟,证明了生物质固体成型微观机理的正确性。

## 5国内模辊式成型机成型设备及关键部件的研究现状

我

国对秸秆

类颗粒燃料的成型

技术及设备的研究较多,但对木质类

作为原料的颗粒燃料成型设备研究还很缺乏<sup>[5]</sup>

,且为了提高设备的利用率,一般在生产饲料颗粒的同时兼顾生产颗粒燃料,这样的设备结构简单、成本低,但有其局限性,产量低,并且生产出的颗粒密度较低。模辊式成型机最突出的缺点表现在主要工作部件磨损大、寿命短、机器故障率多等方面。目前研制的辊模碾压生物质颗粒成型机有北京盛昌绿能科技有限公司秸秆颗粒全自动生产线、上海申德机械有限公司秸秆颗粒全自动生产线、山东诸城恒基机械制造有限公司秸秆颗粒全自动生产线、吉林省华光生

<sup>[29]</sup>。国内许多学者认为平模成型机相对于环模成型机有许多优势。

赵明杰等<sup>[2]</sup>

在加工生物质燃料颗粒的过程中研究平模制粒机的各工作部件特性时指出,平模制粒机宽敞的喂料室及其依靠重力的自然喂料方式都优于环模制粒机,动辊式平模制粒机的平模固定在基座上的方式提高了成型率,平模正反两面可用大大降低了成本<sup>[2]</sup>

。但平模成型机转

速没有环模成型机快,所以产量小,

但由于压制的颗粒密度大,所以耗能量也多<sup>[23]</sup>。但肖宏儒等<sup>[3]</sup>

仍指出,今后秸秆成型燃料加工技术的发展在实用性方面将以冷成型压缩技术为主,在高效和低863安徽农业科学2012年使用成本方面将以平模式压制技术为主,并指出平模压缩成型技术的优点在于原料适应性广、产量高、吨料耗电低、辊模寿命长、成型密度可调。

环模、平模、压辊是影响生物质成型设备成型质量的关键部件,也是最易损坏的部件,其结构参数不仅直接影响着成型颗粒的质量,而且对生产能耗、环模、平模和压辊的结构强度、寿命、主轴受力等也有重要影响。通过对成型设备关键部件的截面尺寸、长径比、成型角度、材料等进行理论分析和数值模拟,可实现提高成型质量、扩展原料适应范围、降低生产能耗、延长使用寿命的设计目标。

### 5.1环模成型机关键部件的研究与设计现状

刘谦儒<sup>[30]</sup>

在对环模与压辊间的压

力分布进行了分析之后,对压辊与压模的尺寸



选择进行了介绍。黄传海<sup>[31]</sup>

从强度合理与否的角度对环模的寿命进行了分析。邓勇等<sup>[32]</sup>

应用UG、Ansys软件对环模进行了有限元分析，分别对其施加均匀载荷与非均匀载荷，得出了“环模不规则磨损是由于饲料轴向分布不均造成的”的结论，其获得的环模沿轴向路径的应力与应力强度的数据为延长环模使用寿命提供了重要参考。王敏<sup>[33-34]</sup>分析了环模制粒机的主要技术参数并介绍了延长制粒机压模使用寿命的方法。

申树云<sup>[6]</sup>

利用Ansys软件对环模的数值进行模拟，得到了环模的温度场、应力场分布规律，并对环模孔的基本尺寸从强度角度进行了模拟分析，得出“模孔长径比为5:1

时应力最小”的结论。吴云玉<sup>[19]</sup>

研究环模的失效形式和失效机理以及影响失效的因素，确定了环模的主要失效形式—接触疲劳失效。通过有限元分析研究了不同孔径、不同排列方式和不同模孔数的环模不同温度下的疲劳寿命，发现模孔交替排列的环模寿命要比模孔平行排列的环模寿命长。

## 5.2平模成型机关键部件的研究与设计现状

郑建龙<sup>[35]</sup>

分析了平模直辊颗粒饲料机压辊及模

板的运动后，改进结构使磨损减轻。陈义厚<sup>[36]</sup>

对三锥辊式平模制粒机模辊间隙大小对制粒机制粒性能参数的影响进行了分析和探讨，给出了实际生产过程中模辊间隙的参考值。赵明杰等<sup>[2]</sup>

从运动分析和受力分析方面对平模直辊的滑动作用进行讨论后得出直辊式成型机滑动作用的存在从一定程度上增加了模辊的磨损，但也增加了成型机的挤压性能，提高了颗粒燃料的质量；并解释了“当环模制粒机和平模制粒机加工相同原料、相同规格的产品时，平模机的模板厚度远薄于环模厚度；平模的中间几圈模孔出料快，越是里圈和外圈的模孔出料越慢，且颗粒越坚硬，品质越好”的现象。

黎粤华等<sup>[37]</sup>

建立了平模颗粒燃料成型机中物料受压辊挤压过程的力学模型，通过分析得到了其挤压力、主轴功率及压辊与平模半径比的理论计算公式；并对压辊的运动进行了分析，将其设计成锥体进行磨损试验，验证其改善了平模成型机的性能，具有极大的实用价值。景果仙等<sup>[38]</sup>

通过Pro/Mecanica软件模块，对成型孔的变形、应力进行了分析仿真，为成型孔结构的设计提供了力学上的依据。

## 6展望与建议

国内外对环模的研究较多，而对于平模的研究则相对缺乏。根据平模相对于环模的各种优点，结合我国国情以及生物质固化成型技术向小型化、可移动化发展的必然趋势，笔者认为平模固化成型设备具有一定的发展和推广潜力，所以应加大对平模成型机结构的进一步研究及优化设计并改善成型工艺。通过技术和设备的研发，提高生产率，降低能耗，减少模辊的磨损，提高使用寿命，从而有力推动生物质成型燃料生产产业化进程。成型机的运转稳定性包括多方面因素，国内外对生物质模辊式生物质燃料成型技术主要集中在物料特性、成型机理、加工工艺、对成型制品品质、生产率、节能降耗、机器寿命的影响；对于设备的制造工艺、结构设计、失效分析等多是实践经验的积累，理论研究相对较少。虽然对模辊式生物质燃料成型设备的关键部件做了较多研究，并得到了一些成果，对设备的结构优化起到了积极作用，但磨损严重始终是目前无法克服的难题。磨损是成型过程中材料和能源消耗的主要方式，由于模辊式生物质燃料成型设备工作过程中主要依靠的是挤压力与摩擦力，因此，研究磨损和不断发展新的耐磨材料和耐磨工艺才是解决问题的根本所在。此外，磨损失效的实质也是力学失效，力学性能的研究对于生物质颗粒成型机的磨损分析、结构参数的优化及节能降耗具有重要意义。

生物质成型技术及设备的落后也造成了我国的生物质成型燃料价格过高。沼气协会秘书长李景明在中国能源网记者的专访中提到，目前我国以生物质致密成型技术生产的颗粒成型燃料，由于其原料经收集、运输、储存、生产等环节，最后颗粒燃料价格高达600元/t，按照热值、效率其价格最终要高于煤炭。针对目前存在的问题，笔者对今后的研究方向及设备结构的优化提出了4点建议：根据我国国情，大力开发平模生物质燃料成型设备，使操作简单、方便；改善加工过程，使之实现自动化和连续化。针对目前成型设备关键部件磨损严重的问题，在前人研究的基础上开发新型材料，改进设备的制造及加工工艺，降低部件的磨损率，以减少成本和能耗。结合最先进的技术和方法分析成型设备的力学特性，从结构上降低磨损、能耗及成本，并对整机进行优化。目前虽然也有学者对生物质成型燃料做过经济效益分析，但尚未有对生物质燃料成型设备进行过全面的经济可行性效益分析。综合考虑设备成本及部件更换与维修费用、能源消耗费用、原料的收集、储存以及加工生产费用、销售费用、燃料产品价格等。

## 参考文献

- [1]孙振钧.中国生物质产业及发展取向[J].农业工程学报, 2004, 20(5): 1 - 5 .
- [2]赵明杰, 吴德胜, 梁浩, 等.平模制粒机在生物质燃料成型方面的应用[J].农业机械, 2008(13): 66-69 .
- [3]肖宏儒, 陈永生, 宋卫东.秸秆成型燃料加工技术发展趋势[J].农业装备技术, 2006(2): 11-13 .
- [4]胡建军.秸秆颗粒燃料冷态压缩成型实验研究及数值模拟[D].大连: 大连理工大学, 2008 .
- [5]刘延春, 张英楠, 刘明, 等.生物质固化成型技术研究进展[J].世界林业研究, 2008(4): 41-47 .
- [6]申树云.生物质颗粒成型环模特性研究[D].济南: 山东大学, 2008 .
- [7]李美华, 俞国胜.生物质燃料成型技术研究现状[J].木材加工机械, 2005(2): 36-40 .
- [8]刘石彩, 蒋剑春, 陶渊博, 等.生物质致密制造成型炭技术研究[J].林产化工通讯, 2000, 36(2): 3-5 .
- [9]李保谦, 张百良, 马孝琴.液压驱动式秸秆成型技术研究及其产业化[C]//2000年国际可再生能源研讨会论文集.北京: [出版者不详], 2000: 61-64 .
- [10]景元琢, 董玉平, 盖超, 等.生物质固化成型技术研究进展与展望[J].中国工程科学, 2011(2): 72-77 .
- [11]郑戈, 杨世关, 孔书轩, 等.生物质压缩成型技术的发展与分析[J].河南农业大学学报, 1998, 32(4): 349-354 .
- [12]袁振宏, 吴创之, 马隆龙, 等.生物质能利用原理与技术[M].北京: 化学工业出版社, 2005 .
- [13]何元斌.生物质压缩成型燃料及成型技术(一)[J].农村能源, 1995(5): 12-14 .
- [14]李在峰, 雷廷宙, 何晓峰, 等.玉米秸秆颗粒燃料致密成型电耗测试[J].农业工程学报, 2006, 22(S1): 117-119 .
- [15]李美华.生物质燃料致密成型参数的研究[D].北京: 北京林业大学, 2005 .
- [16] TABIL Jr L G.Binding and pelleting characteristics of alfalfa[D].Saskatchewan, CA: Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, 1996 .
- [17]ROLFE L A, HUFF H E, HSIEH F.Effects of particle size and processing variables on the catfish feed[J].Journal of Aquatic Food Product Technology, 2001, 10(3): 21-33 .
- [18]霍丽丽, 田宜水, 孟海波, 等.模辊式生物质颗粒燃料成型机性能试验[J].农业机械学报, 2010(12): 121-125 .
- [19]吴云玉.基于生物质固化成型机理研究的环模疲劳寿命分析[D].济南: 山东大学, 2010 .
- [20]HOLM J K, HENRIKSEN U B, WAND K, et al.Experimental verification of novel pellet model using a single pelleter unit[J].Energy & Fuels, 2007, 21: 2446-2449 .
- [21]LINDLEY J A, OSSOUGH V, PHYSICAL M.Properties of biomass, bri-quets[J].Transactions of the ASAE, 1989, 32(2): 361-366 .
- [22]盛奎川, 吴杰.生物质成型燃料的物理品质和成型机理的研究进展[J].农业工程学报, 2004, 20(3): 242-245 .
- [23]李源, 张小辉, 郎威, 等.生物质压缩成型技术的研究进展[J].沈阳工程学院学报: 自然科学版, 2009(4): 301-304 .
- [24]王冬梅.基于 ANSYS 的生物质成型机的研制[D].长春: 吉林大学, 2008 .

- [25]孙启新,张仁俭,董玉平.基于 ANSYS 的秸秆类生物质冷成型仿真分析[J].农业机械学报,2009(12):130-134.
- [26]高建辉.基于 ANSYS 的生物质成型关键部件动静态特性研究[D].济南:山东大学,2009.
- [27]陈晓青.生物质固化成型制品表面裂纹研究[D].济南:山东大学,2010.
- [28]吴云玉,董玉平,吴云荣.生物质固化成型的微观机理[J].太阳能学报,2011(2):268-271.
- [29]孔雪辉,王述洋,黎粤华.生物质燃料固化成型设备发展现状及趋势[J].机电产品开发与创新,2010(2):12-13,21.
- [30]刘谦儒.环模颗粒机部分结构参数分析[J].饲料工业,1989(7):34-35.
- [31]黄传海.环模制粒机的主要技术参数[J].广东饲料,1996(5):30-31.
- [32]邓勇,史建新,董富民.环模制粒机中环模的有限元分析[J].粮食与饲料工业,2004(4):26-27.
- [33]王敏.环模制粒机的主要技术参数[J].湖南饲料,2006(4):39-41.
- [34]王敏.延长制粒机压模使用寿命的方法[J].江西饲料,2004(3):18-19.
- [35]郑建龙.制粒环模:中国,00260834[P].2001-10-31.
- [36]陈义厚,周恩柱.三锥辊式平模制粒机的设计与研究[J].机械设计与制造,2007(11):126-128.
- [37]黎粤华,王述洋.生物质燃料平模固化成型机压辊特性分析[J].机电产品开发与创新,2009(6):47-49.
- [38]景果仙,王述洋,汪莉萍,等.基于 Pro/Mechanica 的生物质挤压设备平模成型孔结构分析及仿真[J].机电产品开发与创新,2009(3):102-103.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/113984.html>