生物质制粒成型机理的研究现状

宗煜翔，万芳新，蒲军，黄晓鹏

(甘肃农业大学工学院，甘肃兰州730070)

摘要：概述了国内外生物质制粒成型机理的研究现状，分别从生物质制粒成型力学模型、制粒成型压缩过程和微观成型机理三个方面进行了阐述，指出了我国生物质制粒成型机理的研究方向。

生物质原料主要包含农作物秸秆、薪柴，以及林业加工剩余物、城市固体废料、畜禽粪便和能源作物，生物质的应用涉及能源、饲料、化肥、污水治理、粉末冶金、燃料电池、造纸等多个领域[1]。

生物质制粒成型
技术是将密度较小的各类生物质原料
通过加压的方式压缩成密度较大的成型颗粒[2－4]
。目前，国内外将成型工艺和成型设备作为了生物质制粒成型技术的主要研究方向，湿压成型、热压成型和炭化成型是主要的成型工艺；螺旋挤压式成型机、活塞冲压式成型机和压辊式成型机是应用比较广泛的成型设备，制粒成型设备又分环模、平模成型机和螺旋挤压成型机。现在对成型工艺和成型设备的研究均取得了重大进展，但对生物质制粒成型机理的研究还不够深入。生物质制粒成型机理是生物质制粒成型技术研究的重要组成部分，可为生物质制粒成型工艺的制定和成型设备的设计及优化提供理论基础。

1生物质制粒成型机理研究现状

目前，生物质制粒成型机理的研究主要集中在制粒成型力学模型、制粒成型压缩过程和微观成型机理三个方面。

1.1制粒成型力学模型研究现状

Holm等 [5－7]
建立了木质粉体在环模孔内挤压的力学模型，推导出了挤压力力学模型，并对力学模型进行了改进，从而解决了泊松比、摩擦系数和预加作用力相互耦合而难以确定的
问题。Osobov[8]
以草颗粒作
为原料进行试验与分析
，得出物料的初始密度和压缩程度对压缩力大
小的影响规律。Rolfe等[9]提出了挤压力与环模转速成反比。Adapa等[10]
在相同的调制条件下对干燥与脱水的苜蓿草进行了颗粒质量对比试验，并建立了苜蓿草颗粒的硬度模型。

曹康等 [11]
将挤压制粒成型过程划分为供料区、变形压紧区、挤压成型区，并对挤压成型区的受力状况进行了力学分析。吴劲峰等[12]
对不同粒度的
苜蓿草粉进行制粒过程模拟
实验，建立了挤出力与粉体粒度、密度的数学模型。黄
晓鹏等[13]
利用正交试验设计，建立了制粒密
度与挤出力、物料含水率的数学模型。周晓杰等[14]
采用电测技
术，得出了苜蓿草径向
力的变化与压缩密度、初始密度和压缩速度密
切相关的结论。杨军太等[15]
对物料在压模筒中的受力进行了分析，得出了物料与压力之间的关系，并分析了轴向应力与径向应力的关系。施水娟等[16]
建立了
挤压力学模型

，并应用有限元软件对环模
进行分析，获得了环模轴向、周向应力与位移的关系。
张炜等[17]
应用有限元软件对环模孔进行静力分析，得到了环模孔轴向应力与变形的分布规律，确定了环模孔锥角对轴向应力的影响。武凯等[18]
通过对成型过程与机理进行分析，建立了环模力学模型和扭矩模型，分析了物料特性和结构参数对环模受力的影响。

1.2制粒成型压缩过程研究现状

Rehkuglar等 [19]
利用流变力学模型分析了成型过程中物料的变化规律。
Bock等[20]
进行了草物料压缩应力试验，得出了草物料压缩过程的流变方程式。对生物质压缩成型影响较大的是粒子的充填特性、流变特性和压缩特性，其中压力、含水率和粒
径是主要的影响因素[21]。Bock等[22]发现在草颗粒制粒过程中，连接草粉粒子之间的物理力决定了颗粒质量。

杨明韶等 [23]对秸秆类物料的流变学特性进行了研究。钟启新等[24]
通过分析压缩过程中物料粒
子之间相互作用力的关系得出了影响颗粒质量的因素。
白炜等[25]
对秸秆颗粒进行了压缩成型模拟实验，为了更有针对性地对压缩过程进行研究，将成型特性曲线分成四个区间，并建立了松散、过渡和压紧阶段的数学模型。李永奎等[26]
应用离散元法对玉米秸秆粉料压制成型过程进行了模拟，建立了玉米秸秆粉料致密成型过程的离散元分析模型。董玉平等[27]
从塑性力学理论的角度建立了压缩过程的力学模型，并应用有限元分析软件对挤压过程进行模拟，得到物料在挤压过程中的变化规律，揭示了在成型过程
中生物质内部应力应变的变化过程。高名望[28]
对成型过程中的温度
场进行了有限元模拟，得到了成型过程中
生物质温度场的分布规律。申树云[29]
应用有限元软件对环模进行了多个物理场的耦合分析，得到了环模整体应力应变及温度场的分布规律。

1.3微观成型机理研究现状

Lindley等 [30]
将成型物内部的黏结力类型和黏结方式分为以下五类：①固体颗粒桥接或架桥；②非自由移动黏结剂作用的黏结力；③自由移动液体的表面张力和毛细压力；④粒子间的分子吸引力或静电引力；⑤固体粒子间的充填或嵌合。他们认为生物质燃烧特性可以用这几种黏结类型来解
释内部的成型机理。Kaliyan等[31]发现颗粒间的结合方式主要是由天然黏合剂（纤维素，蛋白质）形成的固体桥接。

郭康权等 [32]
测量了不同成型条件下的粒子二向平均粒径，得出了粒子二向平均粒径与成型条件的关系，通过显微镜观察粒子间的结合形式，建立了粒子微观结合模型。徐广印等[33]

[34]
在不同的成型条件下观察秸秆颗粒的微观结构，分析了成型条件与微观结构之间的关系，研究表明，秸秆颗粒粒子之间的结合形式主要以机械镶嵌、天然黏结剂黏结为主
。霍丽丽等[35]
通过对比不同物料、不同阶段的物料微观形态和粒子结合形式，得出了生物质颗粒燃料微观成型机理为分层式压缩，可分为中心层、过渡层和表层压缩。邢献军等[36]
对生物质颗粒成型过程中的微观形貌进行观察研究，探究了平模成型机供料区、压紧区、压实区、成型区颗粒粒体间的结合形式。齐菁等[37]
从物理结合形式上分析了稻壳颗粒的微观成型机理，研究表明，“片搭”是稻壳原料之间物理结合的主要形式。盛奎川等[38]

从宏观与微观的角度研究了生物质成型机理，从宏观角度分析了成型条件对颗粒物理品质的影响，从微观角度分析了颗粒品质与粒子特性、生化特性和电势特性之间的
关系。吴云玉等[39]
建立了生物质机械接触几何模型，确定了压辊正压力与生物质表面斜角之间的数学关系，分析了分子电化学微观机理及能量微观机理，揭示了压缩温度在压缩成型过程中的作用及重要性，说明了生物质成型燃料能量和密度提高的原因
。

2生物质制粒成型机理研究与展望

从研究现状来看，生物质制粒成型机理的研究取得了巨大进展。在力学模型的研究方面，建立了若干个关于环模力学特性的数学模型和扭矩模型；在压缩过程的研究方面，关于物料机械特性及流变特性的研究均取得了很大的进展；在微观成型机理的研究方面，揭示了不同物料微观成型结构和颗粒粒子间的结合方式，初步建立了从宏观到微观的过渡成型机理。这些研究成果为生物质制粒成型的工艺制定及成型设备的优化提供了理论依据。今后，应对以下几个方面进行深人研究。

(1)制粒成型中所用的物料大多属于非连续介质的粉粒体，非连续介质力学适用于生物质颗粒的力学分析。目前对非连续介质的理论研究还不够深人，为了更加全面地揭示制粒过程中物料的力学特性，应完善非连续介质的力学理论
。

(2)对生物质制粒成型力学模型进行了大量研究，并建立了许多挤压力学模型，但这些力学模型都是建立在单一物料和特定的压缩条件下。由于制粒成型中所用的物料多种多样，其成型压缩条件也存在着较大差异，因此需要建立适应性更加广泛的物料挤压力学模型和数学模型。

(3)目前在生物质制粒成型压缩过程的研究中，只是对单一的物理场进行了数值模拟，如压力场、温度场或速度场等。由于制粒成型过程具有复杂性、多变性和系统性，因此仅做单一的物理场分析还不能全面地反映制粒成型过程中的物料变化规律，需要对物理场进行多场耦合分析。其次，对生物质压缩过程的研究主要集中在流变学特性和力学特性等方面，对压缩过程中的粒子特性、生化特性和电学特性还需要进行深人的研究。

(4)生物质制粒微观成型机理的研究主要集中在对生物质颗粒压缩前后其内部结构的微观表征方面，对颗粒间的结合形式只是做了一些定性分析。将定性与定量分析结合在一起才能够更加全面地诠释微观成型机理，将宏观与微观相结合才更有利于探索颗粒微观结构形貌及颗粒间结合形式对制粒质量的影响。

(5)对生物质制粒成型机理的研究主要集中在物理层面，对成型过程中物料化学成分的变化及粒子之间化学结合方式的研究还处于起步阶段。为了更加清晰地了解制粒成型机理，需要将物理与化学相结合对制粒成型技术进行深人研究。

参考文献：

[1]孔丝纺，张江勇，曾辉.生物质炭的特性及其应用的研究进展[J].生态环境学报，2015，24(4)：716-723.

[2]邱凌.生物质致密成型研究进展[J].能源技术，1998(3)：57-61.

[3]杜鹏东.生物质固化成型机控制系统的综述[J].森林工程，2013，29(5)：76-78.

[4]于洪亮，林海，曾光，等.GSR800
型固化生物质燃料成型机设计制造技术[J].林业机械与木工设备，2013，41(12)：35-37.

[5]Holm J K，Henriksen U B，Hustad J E，et al.Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellets pro-duction[J].Energy & Fuels，2006(20)：2686-2694.

[6]Holm J K，Wand K，Henriksen U B，et al.Fundamentals of biomass pellet production[A].European Conference and Exhibition：Biomass for Energy，Industry and Climate Protection[C]，Vienna，2005.

[7]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.

[8]Osobov V I.Pressing and pelleting of Hay Straw Materials by and Impact Load[J].Traktory I Selkhzmachiny，1970，40(6)：21-23.

[9]L.A.Rolfe，H.E.Huff，F.Hsieh.Effects of particle size and processing variables on the properties of an e对ruded catfish feed[J].Journal of Aquatic Food Product Technology，2001，10(3)：21-33.

[10]Adapa P K，Singh A K，Schoenau G J，et al.Pelleting characteristics of fractionated alfalfa grinds：Hardness models[J].Powder Handling and Proeessing，2006，18(5)；294-299.

[11]曹康，金征宇.现代饲料加工技术[M].上海：上海科学技术文献出版社，2003.

[12]吴劲锋，黄建龙，张维果，等.苜蓿草粉制粒密度与挤出力模拟试验[J].农业机械学报，2007，38(1)：68-71.

[13]黄晓鹏，万芳新，黄维龙，等.基于挤压模拟试验的苜蓿草颗粒成型工艺参数优化[J].农业机械学报，2011，27(11)：354-358.

[14]周晓杰，王春光.压缩条件对苜蓿草径向受力的影响[J].农业机械学报，2009，40(2)：115-118.

[15]杨军太，朱柏林，刘汉武.柱塞式压块机压块成形理论分析与试验研究[J].农业机械学报，1995，263(6)：51-57.

[16]施水娟，武凯，蒋爱军.制粒过程中环模力学模型的建立及有限元分析[J].机械设计与制造，2011(1)：38-40.

[17]张炜，吴劲锋.环模制粒机中环模结构型孔的有限元分析[J].中国农机化，2007(6)：25-27.

[18]武凯，施水娟.环模制粒挤压过程力学建模及影响因素分析[J].农业工程学报，2010，26(12)：142-147.

[19]Rehkugler G E，Buchele W F.Bio-mechanices of forage wafering[J].Transactions of the ASAE，1969(52)：1-8.

[20]Bock R G，Puri V M，Manbeck H B.Modeling stress Relaxation Response of Wheat En Masse using the TRiaxial Test[J].1989，35(5)：1701-1708.

[21]郭康权.粉粒体技术基础[M].西安：西北大学出版社，1995.

[22]Adapa P K.Tabil L G.Schoenau G J，et al.Compression characteristics of fractionated alfalfa grinds[J].Powder Handling and Pro-cessing，2002，14(4)：252-259.

[23]杨明韶，李旭英.草类物料开式压缩过程的分析研究[J].农机化研究，2005（3）：81-84.

[24]钟启新，齐广海.制粒机理及其影响因素[J].中国饲料，1999(14)：8-10.

[25]白炜，胡建军.秸秆颗粒冷态压缩成型实验研究及回归分析[J].河南科技，2007，27(6)：703-706.

[26]李永奎，孙月铢，白雪卫.玉米秸秆粉料单模孔致密成型过程离散元模拟[J].农业工程学报，2015，30(20)：212-217.

[27]董玉平，高名望，孙启新.秸秆类生物质固化成型有限元模拟[J].山东大学学报，2005，35(5)：9-13.

[28]高名望.松散生物质热压成型有限元模拟与分析[D].济南：山东大学，2004.

[29]申树云.生物质颗粒成型环模特性研究[D].济南：山东大学，2008.

[30]Iindley J A，Vossoughi M.Physical properties of biomass bri-quettes[J].Transactions the ASAE，1989，32(2)：361-366.

[31]Kaliyan N，Morey R V.Natural binders and solid bridge type binding mechanisms in briquettes and pellets made from com stover and switch grass[J].Biore source Technology，2011(101)：1082-1090.

[32]郭康权，赵东.植物材料压缩成型时粒子的变形及结合形式[J].农业工程学报，1995，11(1)：138-143.

[33]徐广印，沈胜强，胡建军，等.秸秆冷态压缩成型微观结构变化的实验研究[了].太阳能学报，2010，33(3)：273-278.

[34]田潇瑜，侯振东，徐杨.玉米秸秆成型块微观机构研究[J].农业机械学报，2011，42(3)：105-108.

[35]霍丽丽，田宜水.生物质颗粒燃料微观成型机理[J].农业工程学报，2011，27(1)：21-25.

[36]邢献军，胡运龙，马培勇，等.生物质颗粒微观成型机理研究[J].可再生能源，2015，33(5)：921-925.

[37]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[〗].农业工程学报，2004，20(2)：242-245.

[38]齐菁，于洪亮.稻壳生物质颗粒成型机理的显微观察[J].辽宁农业科学，2009(6)：49－50.

[39]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，2011，32(2)：268-271.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/124221.html