生物质能源转化技术与应用（Ⅱ）——生物质压缩成型燃料生产技术和设备

刘石彩，蒋剑春

(中国林业科学研究院林产化学工业研究所；国家林业局林产化学工程重点开放性实验室，江苏南京210042)

摘要：生物质能源是唯一可再生、可替代化石能源转化成气态、液态和固态燃料以及其它化工原料或者产品的碳资源。随着化石能源的枯竭和人类对全球性环境问题的关注，生物质能源替代化石能源利用的研究和开发，已成为国内外众多学者研究和关注的热点。本系列讲座主要讲述以生物质资源为主要原料，通过不同途径转化为洁净的、高品位的气体、液体或固体燃料。本讲主要综述生物质成型燃料的种类、研究与开发利用进展状况。重点讨论了生物质成型燃料的生产技术和设备，并指出了目前存在的主要问题和今后的发展方向。

生物质压缩成型燃料是生物质能源转化与利用的一个重要领域。它是将木质类的木屑，树叶、稻草等，在一定粒度和含水率的条件下，在50～200MPa高压和150～300℃高温下，或不加热和不加粘结剂条件下，压缩成棒状、粒状、块状及其它形状，具有一定密实度的成型物。广泛应用于工业锅炉、民用炉灶等场合，还可进上步加工成型炭和活性炭。由于成型燃料具有相对密度大(约1.2)，便于贮存和运输，含水率低(8%以下)，含挥发物高(75%以上)，含灰分低(一般小于5%)，热值高，着火容易，
使用方便，燃烧完全，燃烧时几乎不产生SO_2
，因此不会造成环境污染，故亦称为“清洁燃料”，也可作为气化炉的燃料。成型燃料堪称一种理想能源，有着广阔的市场开发前景。

国外生物质压缩成型燃料的开发工作始于20世纪40年代，1948年日本申报了利用木屑为原料生产棒状成型燃料的第一个专利。50年代初期生产出了商品化的棒状成型机，60年代成立了木质成型燃料行业协会。70年代初，美国又研究开发了内压滚筒式粒状成型机。亚洲除日本外，泰国、印度、菲律宾等国从80年代开始也都先后开展了生物质致密成型机设备及成型工艺方面的研究。

我国从20世纪80年代起开始致力于生物质致密成型技术的研究。中国林业科学研究院林产化学工业研究所在“七五”期间承担了生物质致密成型机及生物质成型理论的研究课题。于1990年研究开发成功棒状成型燃料成型制造工艺设备系统。于1998年率先研究开发成功颗粒成型燃料热成型制造工艺设备系统。

辽宁省能源研究所开展了生物质固化成型技术中使用的压缩成型机械及生物质压缩成型原理、压缩成型主要影响因素、压缩成型工艺等方面的研究工作。河南农机研究所对环模生物质颗粒燃料成型机影响成型的各主要因素进行了分析及试验研究，研究了不同生物质原料、粒度、含水率、环模孔长径比等因素与颗粒成型率及吨料电耗的关系，确定了生物质颗粒燃料的最佳成型条件。浙江大学也开展了对切碎棉秆进行高密度压缩成型试验，研究了压力、温度和切碎棉秆粒度大小对成型块松弛密度的影响。华东船舶工业学院也开展了生物质固体燃料成型机研究工作，并申请了专利。

1棒状成型燃料

1.1棒状成型燃料成型机

成型机是生产成型燃料的关键设备，它的性能优劣直接影响到产品质量的好坏和生产成本的高低，由于棒状压缩成型燃料在成型机中挤压力很高(一般50一200MPa)，而这么高的挤压力主要由成型物料与成型套筒之间的磨擦力所产生，因而套筒的磨损十分严重。另外，在成型过程中，为了维持正常操作，生产出优质产品，减少磨擦力，延长套筒使用寿命，需要对套筒进行适当的加温。因此，对成型套筒的材质要求十分苛刻，不仅要求材料具有很好的耐磨性，而且还要有良好的导热性和可加工性，且价格低廉。进口成型套筒

材料的化学成分除了Fe以外含C 3.15%，Si 2.589%，Ni 0.882%，P 0.037%，S 0.032%，Cr 0.602%(均为质量分数，下同)。典型的3种国产套筒化学成分(除了Fe以外)见表1，材料物理性能见表2。3种套筒经实际运行，从耐磨性、传热、可切削性看，均达到要求，但1号和3号的价格较便宜，这种套筒使用寿命超过1000h。

表1　国产套筒材料的化学成分

Table 1　Chemical components of sleeve made in China　%

编号 No.	C	Ni	P	S	Ti	Re	Cu
1	3.09	1.18	0.047	0.031～0.042	—	—	—
2	3.46	1.02	0.034～0.043	0.019～0.028	0.50	0.032	—
3	3.29	0.99	0.03	0.025	—	0.036	0.53

表2　国产套筒材料的物理性能

Table 2　Physical properties of sleeve made in china

编号 No.	强度/MPa intensity	导热系数 /(J·cm^{-1}·s^{-1}·℃$^{-1}$) thermal conductivity	线膨胀系数 /10^{-5}℃$^{-1}$ linear expansivity
1	3.20	0.52	11.83
2	4.38	0.54	11.04
3	6.70	0.41	11.10

棒状成型机的另一易磨损的部件为螺旋挤压杆(以下称螺杆)。物料与套筒磨擦产生的高压力，同时也对螺杆产生强烈的磨损作用，导致螺杆严重磨损，因而不仅要求螺杆具有足够的强度和刚度，还需要有良好的耐磨性。在对比了螺杆的表面镀层、螺杆热处理、螺杆堆焊三种方案以后，本着降低成型燃料的生产成本，生产厂家能自行维修螺杆之目的，着重采用螺杆堆焊工艺，而螺杆本身用中强度钢材加工，在螺杆前端采用高强度耐磨焊条，在适当工艺条件下堆焊，最后加工成专用的螺杆。

单管成型机生产能力150—250kg／h，生产能力的波动，主要来自于不同原料，并受地区电压的波动等诸因素的影响。

目前，我国连云港新现代能源设备厂、上海奇圣炭业有限公司等诸多厂家均生产棒状成型机设备。

1.2棒状成型燃料成型工艺

棒状成型燃料典型的成型工艺流程为：把木屑或稻壳等原料送人振动筛中，筛去大于6mm的颗粒和其它杂物，通过料斗加入螺旋加料器，输送到脉冲气流干燥器，由引风机引入热风炉的热烟气，将原料边干燥边输送人高效旋风分离器，气体经引风机排空，而干燥原料则通过星形排料器进入料仓，定量加入棒状成型机，挤出的成型燃料按等长度(450mm)自动切割成短棒。

1.3影响棒状成型燃料生产的因素

木质原料在成型过程中，成型机的结构，成型机套筒所用的材料和螺杆材料以及成型工艺是相关的。在确定了成型机构和有关部件所用材料后，成型工艺成了主要的技术关键，加热温度、压力、原料粒度和含水率为影响成型燃料生产的主要因素。

1.3.1加热温度和压力由木质素、半纤维素、纤维素组成了多种木质原料，其中木质素在加热时可塑化，塑化时具有粘结性，将木质原料中半纤维素、纤维素在压力下粘结压缩成成型燃料。不同种类的原料由于其木质素、半纤维素、纤维素含量的不同，原料状态不同，成型所需的温度和压力是有差异的。试验证明：温度和压力过高或过低均会导致成型的失败。

温度过低，投入热量减少，不足以使木质素塑化将原料成型，也不能使成型燃料表面热分解收缩，并造成与套筒内壁磨擦增大，加快套筒的磨损，增加成型机的功率消耗。温度过高，则使成型燃料表面热分解严重，出现裂纹，成型燃料强度下降，甚至不成型。压力过低将不能使原料压紧压实，严重时不足以克服与套筒间的磨擦阻力，成型无法进行。而压力过高将使原料在套筒内停留时间缩短，影响必要的热量获得，同样不能成型。经过反复试验证明：成型压力在120MPa左右，最佳成型温度以140—180℃为宜。

1.3.2原料粒度和含水率棒状成型燃料所用原料广泛，不同原料有不同粒度。以木屑、稻壳、糠醛渣、刨花、稻草、花生壳、树叶、葵花籽壳等8种不同粒度的原料为例，试验结果表明：木屑、稻壳、糠醛渣3种原料粒度合适，都可以

直接成型，产品坚实，表面光滑，模截面规则。其它5种原料都必须经粉碎，一般要求粒度在4～6mm以上不超过10%，仍可以生产合格产品。粒度过大时，会形成输送困难，易架桥，从而无法成型。

不同种类的原料成型难易也有差别，对松木和杉木屑试验后发现：松木屑由于含非粘结的松节油等低挥发成分，成型时比较困难，而杉木屑由于木质素含量较多，粘结性好，因此成型较容易。

对难以成型的松木屑或硬杂木屑，如掺人80%左右的稻壳，则成型操作稳定，成型产品质量好。原料含水率对成型过程以及产品质量影响是很大的，所以必须严格控制成型时原料的含水率。

当原料含水率过高时，加热产生的蒸汽来不及从成型燃料中心孔排出，从而产生爆鸣，含水率太低，也会发生成型困难。试验表明：无论何种原料，如含水率大于15%，成型机操作不稳定，产品表面严重开裂、强度大大下降。为保证产品质量，对稻壳、花生壳等原料，含水率控制在6%～12%范围，对木屑、刨花、树叶等原料，含水率应控制在6%～10%范围。

1.4棒状成型燃料的性能

1.4.1不同原料成型燃料的热值木屑、稻壳、稻草、树叶、玉米秸秆、花生壳等原料制成棒状成型燃料后的热值和灰分含量测定结果见表3。

表3　成型燃料灰分含量和热值

Table 3　The ash content and heating value of shaped fuel

种类 variety	灰分含量/% ash content	热值/(MJ·kg^{-1}) heating value
木屑 sawdust	1.2	20.79
稻壳 rice husk	9.2	19.65
稻草 rice straw	10.1	18.66
树叶 leaves	8.9	19.46
玉米秸秆 cornstalk	8.0	19.62
花生壳 peanut shell	8.7	19.87

1.4.2棒状成型燃料的吸湿性木质成型燃料贮存时，会吸收空气中的水分，产品含水率增加，表面开裂和膨松、产品质量呈下降趋势，这是因为原料在成型时未添加任何粘结剂，产品有吸湿倾向。

研究表明，成型燃料直径大小影响成型燃料吸湿性能，成型燃料直径大，抗渗水性时间较长，随着成型直径减小抗渗水性时间减少，抗渗水性能降低。为延长成型燃料贮存时间，改善吸湿状况，试验表明，在木屑中掺人30%稻壳成型燃料，可提高抗吸湿性能，也可以在原料中添加抗湿的粘结剂或产品用塑料薄膜包装。

1.5棒状成型燃料的深加工利用

生物质成型炭是将木质棒状成型材炭化而成，由于成型炭成分同传统木炭完全相同，不含任何有害成分，清洁卫生，可长期保存不会发生质变，与传统木炭具有同等强度和热值，因此它是木炭产品的理想替代品。广泛用于烧烤行业及以木炭为原料的化工行业。

1.5.1成型炭制造设备普通的木材炭化炉，所用原料为含水率15%～35%的块状木料，而生物质成型材的含水率为5%～9%。由于两者的含水率及本身强度上的巨大差异，决定了适合两者的炭化炉结构及炭化操作工艺具有显著不同

。针对生物质成型材含水率低，强度比木块差的特点，中国林业科学研究院林产化学工业研究所研究开发了移动式成型炭制造设备，如图1。

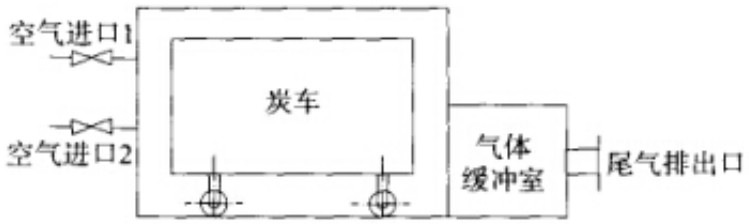

图 1　移动式炭化炉结构示意图

Fig. 1　Schematic diagram of moveable carbonization kiln

设备总体由普通型钢支撑，呈箱形，长×宽×高：2000mm×1500mm×1500mm，内层为耐火层，外层为厚度2mm碳钢板，夹层为保温层，在设备前端为一钢门，以方便炉内小车进出，钢门装有2个空气进口，用以调节炭化室空气分布。在设备的后部，设计有燃烧室，成型材进行炭化时产生的可燃性气体及焦油绝大部分在此燃烧干净，然后进入烟囱，烟囱高12000mm。烟囱下部有30mm开口，以方便收集炭化操作时产生的木焦油及木醋液。

1.5.2成型炭制造工艺以5种不同材质(桦木屑、松木屑、杉木屑、稻壳、玉米秸秆)为原料，原料粒度小于5mm，经压缩成型为相对密度1.2左右的成型材，每根截成长度为220mm左右，整齐装进小车，送入炭化设备进行炭化。从引火材着火起，大约1h左右，小车中的成型材被引燃，炉顶上部温度在2h后开始上升，在13h以前，上温缓慢上升，直至200℃左右，下温在4h后开始缓慢上升，至30h左右，上、下温度接近一致，表明炉中成型材炭化过程接近终点，此时将炭化炉所有进气阀门全开，烟囱排烟阀全开，炉中进入大量空气开始精炼过程，此过程延续约1h左右即可将小车中的成型材炭化料从炉中拉出，在密封罩中冷却8h，即得到成型炭产品。

目前，棒状成型燃料在我国生产应用广泛，浙江衢州现代炭业有限公司，黑龙江绥芬河鑫源炭业有限公司等均生产棒状成型燃料。

2颗粒成型燃料

颗粒成型燃料，是以木屑、树皮等农林剩余物为原料，在高压加热条件下，压缩成颗粒状且质地坚实的成型物，可作为工业锅炉、民用炉灶、家庭取明炉以及农业暖房的燃料。颗粒成型燃料与棒状成型燃料相比，生产时其原料含水率可增大至24%，燃烧的适应面更广等特点。

2.1颗粒成型燃料制造设备

中国林业科学研究院林产化学工业研究所与江苏省溧阳正昌集团合作，于1998年成功开发KYW32型内压滚动式颗粒成型机，它是由进料、搅拌、成型、传动系统等组成。操作时，将原料从料斗进入进料器，由无级调速电机调速，定量的原料进入搅拌器与从蒸汽进口进入的蒸汽混合后，由下料槽进入成型机的成型室压制成颗粒成型燃料。

成型机的环模孔尺寸，参照日本、美国专利和根据实验室不同原料成型工艺要求，确定模孔尺寸为模孔中央直径西6～10mm，入口角60°，模孔长度40mm。

2.2颗粒燃料成型工艺条件

原料在成型过程中，成型机结构、模孔尺寸以及成型工艺条件是相关的。在确定了成型机结构和模孔尺寸后，成型工艺成了技术关键。不同原料制造颗粒成型燃料的主要影响因素有成型压力、温度、原料粒度、含水率等。

由木质素、半纤维素、纤维素组成的木屑等原料，粒度为0.1～2mm，其中木质素在加热下可塑化，具有粘结性，将原料中的半纤维素、纤维素在压力下粘结成成型燃料，所以成型时应有合适的温度和压力。为了达到合适的温度，必须对原料(气干、含水率在11%～12%)在搅拌器中进行加热增湿处理。蒸汽通人速率为10～22kg／h，可使常温原料升温到60～80，同时使原料含水率从11%～12%增湿至16%～22%。在此范围内，当成型压力为50～100MPa时，能连续稳定制造颗粒成型燃料，生产能力为200kg／h左右，产品质量达到日本“全国燃料协会”公布的颗粒成型燃料标准的特级或一级。

2.3颗粒成型燃料的应用

以木屑等原料制造的颗粒成型燃料，与煤、石油相比，几乎不含硫，不会产生环境污染，使用方便。20世纪80年代日本有资料报道，烧成型燃料的费用比烧油低30%～50%。在国外，颗粒成型燃料广泛地作为工业锅炉燃料，作为工厂、学校、医院、家庭取暖燃料。

目前，我国有北京盛昌绿能科技有限公司，山东滨州生物质燃料有限公司等厂家生产颗粒成型燃料。我国南京平亚科技实业公司开发生产了一种家用取暖炉，具有操作方便、美观大方、清洁卫生、安全可靠等一系列优点，操作费用远低于空调取暖。以150m房间为例，一个冬季仅需0.5～1.0t成型燃料，经测算，空调器耗电近3kWh产生的有效热量，才相当于1kg成型燃料产生的有效热量，用电取暖的操作费用高出成型燃料取暖的2倍左右。

3结论

生物质压缩成型燃料由于具有较高的压缩比，极大地方便生物质资源的运输和储存，同时改善了生物质原料的燃烧性能，提高了生物质资源的利用效率。作为一种可再生的清洁能源，有着广阔的发展前景。目前，我国采用的生物质固化成型燃料的形状主要有棒状、块状和颗粒状。这几种形状燃料的加工方法均为传统生产方法，普遍存在着设备能耗过高、磨损严重和使用寿命短等问题。以生产颗粒状燃料方法为例，它与现有的生产颗粒状饲料的方法相似，即原料从设备环模内部加入，经压辊碾压挤出环模而成颗粒状。

该工艺流程需要消耗大量能量，首先是颗粒压制成型过程中，压强达到50～100MPa，原料在高压下发生变形、升温，温度可达100～120°C，电动机的驱动需要消耗大量的电能；其次是原料的含水率要求在12%左右，为了达到这个含水率，很多原料要烘干以后才能用于制粒，这些工艺流程均需消耗大量能量。

要解决上述问题，可通过下列途径：一是加大科研投入，积极研发新工艺和新设备，降低能耗，减少生产成本；二是引进国外先进设备，消化吸收，形成产业化生产；三是政府扶持，对研制开发单位和新型生物质能用户进行补贴，降低产品使用成本。

参考文献：

[1]周成．生物质固化成型燃料的开发与应用[J]．现代化农业，2005(12)：16—17.

[2]蒋恩臣，何光设．稻壳、锯末成型燃料低温热解特性试验研究[J]．农业工程学报，2007，23(1)：188—191.

[3]MALANIN V I，MAKSIMOV A A，KVASHNIN．Method and

apparatus for biquetting of lignin—containing mateials：RU2191799[Pj．2002.

[4]MASON M，DUMBLETON，FREDERICK J．Production of compact biomass fuel：WO 2003087276[P]．2003.

[5]REED，THOMAS B．Combined biomass pyrolysis and densiica—tion for manufacture of shaped biomass—deived solid fuels：US2003221363[P]，2003.

[6]WERNER，HANS．Process and apparatus or production f fuels from compressed biomass and use f the fuels：EP 1443096『P1．2004.

[7] DEM1RBAS，AYHAN，SAH1N-DEM1RBAS．Briquetting

properties f biomass waste mateials[J]．Energy Sources，2004，26(1)：83—91.

[8]蒋剑春，刘石彩，戴伟娣，等．颗粒成型燃料制造及其应用[J]．林业科技开发，2000，14(1)：32—33.

[9]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)：35—36.

[10]何元斌．生物质压缩成型燃料及成型技术(二)[J]．农村能源，1995(6)：34—35.

[11]何晓峰，雷廷宙，李在峰，等．生物质颗粒燃料冷成型技术试验研究[J]．太阳能学报，2006(9)：10—12.

[12]盛奎川，钱湘群，吴杰．切碎棉杆高密度压缩成型的试验研究[J]．浙江大学学报：农业与生命科学版，2003(2)：31～35.

[13]任家隆.一种固型燃料成型机：中国，2424010[P].2002.

[14]赵青玲，张培远，刘俊红，等.原料含水率及成型直径对秸秆成型燃料耐久性的影响[J].环境污染与防治，2006，28(12)：911-913.

[15]刘石彩，蒋剑春，陶渊博，等.生物质固化制造成型炭技术研究[J].林产化工通讯，2002，36(2)：3-5.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/83073.html