

生物质致密成型原料预处理技术研究进展及试验初探

夏先飞¹, 肖宏儒¹, 肖苏伟¹, 李波², 宋志禹¹, 李国平²

(1.农业部南京农业机械化研究所, 南京市, 210014; 2.江苏金禾新能源机械有限公司, 江苏泰州, 225400)

摘要: 生物质是宝贵的可再生资源, 对其进行能源化利用可有效解决当前日益严峻的能源和环境问题, 生物质致密成型是实现其能源化利用的重要手段, 对该技术具备的技术优势、基本原理及存在的问题进行分析。重点介绍生物质致密成型原料预处理技术中的物理及化学预处理国内外研究进展, 并进行相应的试验研究。分析表明通过适宜的预处理手段改善生物质原料的成型特性并提高制品品质, 将成为促进生物质资源高效利用的重要方式。压制试验显示烘焙预处理使稻秸成型能耗降低11.52%, 制品密度提高7.99%, 制品热值提高15.01%, 制品强度可满足使用要求。该类预处理方式能有效降低成型能耗、提高制品热值, 节能增热效果显著。

引言

目前, 全世界正面临着能源与环境的双重压力。据国家能源局发布的数据显示, 我国1980年的一次能源消耗量为6.02亿t标煤, 2016年增加到41.8亿t, 据预测2020年将突破45亿t。另据BP能源统计年鉴(2016版)数据显示, 2015年煤炭的消耗量仍占我国能源消费总量的64%。煤炭燃烧会释放大量的二氧化硫、二氧化碳、氮氧化物和粉尘, 其比例分别占到全国污染物排放的85%、85%、60%和70%。

近年来, 我国有25个省份总计6亿以上人口受到因空气污染带来的雾霾影响, 大气污染治理问题日益突出。2017年党的十九大报告中明确指出要将“壮大节能环保产业和清洁能源产业, 推进我国能源生产和消费革命, 构建清洁低碳、安全高效的能源体系”作为我国长期的能源发展战略。在2015年巴黎气候大会上, 习近平主席明确表示“中国将实现2030年单位国内生产总值的二氧化碳排放比2005年降低60%~65%, 非化石能源占比一次能源消费总量的20%左右”。因此加快调整我国能源总体结构, 增加可再生能源消费量, 尤其是大力发展环保、清洁的生物质能源是实现这一战略目标的重要举措。

1 生物质致密成型技术介绍

1.1 生物质致密成型技术优势

生物质是唯一可替代化石能源转化成气态、液态和固态燃料的碳资源。我国是农业大国, 每年水稻、小麦和玉米三类主要作物的秸秆产量就超过6亿t, 但被废弃或焚烧的秸秆占总量的40%以上。尤其是收获季节, 秸秆随意焚烧会带来严重的空气污染, 同时也是对生物质资源的巨大浪费。表1为农作物秸秆在不同供氧燃烧状态下的PM2.5排放情况, 田间焚烧多为闷火燃烧, 其污染非常严重。

鉴于此情况, 对我国储量庞大的秸秆资源进行能源化利用已成为非常紧迫的任务。直燃发电、秸秆气化和致密成型制备固体燃料是秸秆能源化利用的主要途径。其中通过致密成型制备固体成型燃料有工艺简单、生产率高的优点, 所制备的成型燃料密度较高, 在 $0.8 \sim 1.1 \text{g/cm}^3$ 范围内, 存在形式可分为颗粒状、棒状或块状, 便于运输和燃烧。广泛用于工业发电、锅炉燃烧供热和户用炊事等方面, 能作为化石燃料的一种重要替代。

表 1 秸秆在不同燃烧状态下的 PM2.5 排放值
Tab. 1 PM2.5 emission value of straw under different combustion conditions g/kg

秸秆	w 明火 (PM2.5)	w 闷火 (PM2.5)	w 闷火/w 明火
小麦	31.2	88.3	3.0
玉米	15.1	91.8	6.1
水稻	8.7	69.9	8.0

1.2 生物质致密成型基本原理

生物质致密成型设备通常可分为螺旋挤压成型、活塞冲压成型和旋转挤压成型四类。其中，旋转挤压致密成型一般无需外部加热，依靠物料与模具摩擦产生的热量可软化成型物料，并且该类成型方式对原料含水率要求不高，一般存 10% ~ 30% 范围内均可成型。因此，该项技术是当前研究和开发的热点，典型的生物质致密成型设备如图1所示。

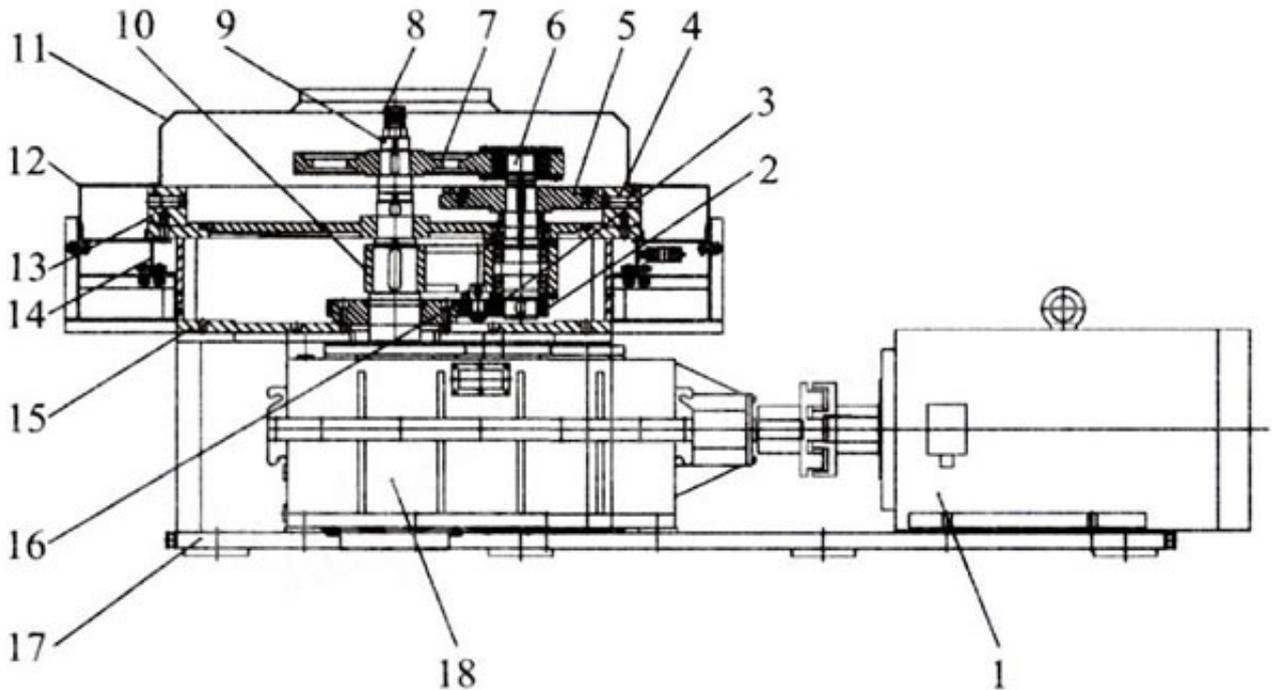
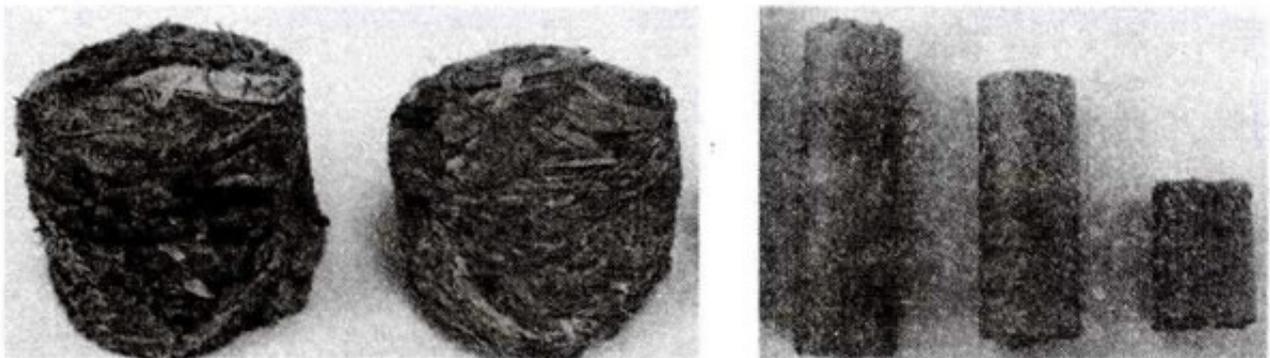


图 1 生物质致密成型设备(立式环模)

Fig. 1 Biomass densification device (vertical ring-die)

1. 电机 2. 齿轮 3. 齿轮 2 4. 成型模具 5. 压轮总成
6. 压轮轴 7. 压轮压板 8. 旋转接头 9. 主轴 10. 压轮座
11. 料仓 12. 出料外圈 13. 模盘 14. 出料托盘
15. 支撑座 16. 齿轮 1 17. 机架 18. 减速机

所生产的秸秆致密成型燃料如图 2 所示。



(a) 压块

(b) 颗粒

图 2 秸秆致密成型燃料

Fig. 2 Biomass densification fuels

生物质旋转挤压致密压成型的基本原理为：物料由喂料装置送入模具成型腔内，随着压轮的推动，摄入的物料不断被压紧，当挤压力增大到一定程度时，物料可克服与模具内壁的摩擦力而被完全挤进模孔。同时物料与模具摩擦产生

的热量会软化秸秆中的木质素和纤维素,由此秸秆原料在成型模具内被不断压紧、粘结,经一定时间保压后挤出模孔成为具有固定形状的燃料。

1.3致密成型技术目前存在的问题

在各项政策的驱动下,国内众多科研机构相继展开了秸秆致密成型工艺及设备的开发,积极推动了该项技术的发展。但由于成型原料的特殊性和生产方式的多样性,目前该项技术仍存在较多难题。我同著名农村能源专家张百良指出要实现农作物秸秆同体成型燃料的规模化生产利用,需解决原料收集、成型模具快速磨损的成型设备能耗等几类问题,另外,秸秆同体成型燃料还存在制品品质不稳定、热值偏低等不足,难以满足部分使用要求较高的场所。

秸秆原料含有较多的木质纤维素,直接粉碎时耗能极高,成型燃料生产过程实质为“能源换能源”;另外,由于秸秆原料本身为低品位燃料,决定了其燃烧低热值,所制备的同体燃料无法达到化石燃料的高品位。目前国内较好的秸秆致密成型设备模具寿命为300h左右,生产秸秆颗粒固体燃料的能耗达到100kW·h/t,干占秆压块固体燃料的能耗一般也超过50kW·h/t。秸秆同体成型燃料的低热值大致为14~15MJ/kg。而中质煤的低热值一般也在20MJ/kg以上。

1.4生物质原料预处理技术的重要作用

由于生物质致密成型既有原料的特殊性,又有成型过程的复杂性。通过适当的预处理手段以改善生物质原料的成型特性并提高制品品质,将成为促进生物质资源高效利用的重要方式。物理改性和化学改性是实现生物质预处理的两种主要手段。其中,物理改性预处理包括添加有助于成型的粘结剂或其它富含小质纤维素的木质类生物质原料,化学改性预处理的主要手段为热解碳化和水热处理。

2生物质原料预处理技术研究进展

我国是在20世纪80年代开始较为系统的进行生物质固化成型技术开发,通过科技攻关,在消化和吸收国外先进技术后,开发出适合我国国情的生物质同化成型设备,而同外学者在原料预处理及成型工艺优化等方面开展了较为全面的研究。

2.1生物质原料物理预处理技术

粘结剂方面,Kong等发现把亚麻纤维混合到生物质成型原料中,可以有效提高制品品质;Rosin等为改善成型过程,则将糖浆、HSC-residue和褐煤添加到生物质成型原料内;Mediavilla等通过试验指添加小质素磺化盐可显著提高生物质成型燃料的耐久性;为解决秸秆热值低的问题,Rahaman等发现水稻秸秆冷压成型过程中添加锯末作为粘结剂可以显著促进成型。Shang等研究了菜籽油对生物质致密成型过程中摩擦力和制品品质的作用规律,试验结果表明菜籽油可以降低模孔摩擦、增加设备产能,但该类处理会降低燃料制品强度和密度。Obidziiski等则将马铃薯浆和燕麦麸混合后制粒,得到当马铃薯浆比例在15%~20%范围内时,制粒能耗降低。Tilay等发现当在菜籽粕中添加剂和润滑油后制粒时,制品强度和耐久性会提高。与混合其它原料相关的研究有:Zarringalam等指出生物质和煤粉混合制备固体燃料时可以提升制品热值;Zannikos等为降低成型能耗,将废旧塑料PE和锯末混合以制备成型燃料;Filbakk等通过试验发现树皮和其它生物质混合制备生物质颗粒燃料时可提高制品品质和热值;Liu等则将竹子和稻草混合后制粒,试验结果表明制品密度和强度都得到有效提升,该类预处理方式能有效改善制品品质。

2.2生物质原料化学预处理技术

热解碳化和水热处理是生物质最主要的化学预处理方式,能将生物质转化为生物炭、燃料或者化学品。其中,中低温热解碳化又称为烘焙(Torrefecation),生物质原料通过烘焙预处理可得到大量均匀、高热值和低含水量的固体产物,同时还会生成一定量的冷凝液和气体。通过低温热解可有效对生物质原料进行碳化改性,既能提升原料均匀性,又能提升制品热值。

Acharya等和Pirraglia等评价了生物质热解技术的经济优势,并指出该类预处理方式是促进生物质高效利用的重要途径;Wang等通过试验分析指出,相比传统制粒方式,烘焙预处理锯末制备固体成型燃料具有较大技术优势;Li等利用热解碳化后的锯末原料制备生物质固体成型燃料,并得到了该过程对制品品质的影响规律;Peng等研究发现烘焙后的生物质制粒式具有更高的能量密度;但由于热解过程会破坏生物质原料的木质素结构,Larsson等发现烘焙处理后原料含水率会大幅降低,因而会增加成型能耗;Stelte等也发现木屑烘焙处理会对制粒制品强度带来不良影响。

生物质水热预处理(Biomass Hydrothermal Pretreatment)也称生物质自水解,是指在密闭容器内通过加热产生一定

的蒸汽压力，从而使水在该高温高压环境下保持临界或亚临界状态，并利用在此状态下具有特殊性质的水分子对生物质原料中结构相对稳定的木质素、纤维素和半纤维素进行水解。水热处理显著的优势是其以水作为媒介，不使用其它化学原料，降解生产的产物较少，反应时间短，反应可控性很强，对环境友好；并且可处理原料的适应性很广，适用于各类生物质原料。根据水热处理温度及时间的差异，水热处理还可细分为水热气化、水热碳化、水热液化。水热碳化是以获得固体产物为主要目标产物，在温度为180 ~ 250、压力为1.4 ~ 27.6MPa条件下进行的水热反应。同水热液化和水热气化相比，水热碳化反应所需的温度和压力都相对较低，反应条件也比较温和，所得固体产物的尺寸均匀，能量密度较高。国内外学者指出水热碳化可作为生物质原料向高能量密度燃料转化的主要技术。Kambo和Dutta研究发现水热碳化预处理生物质原料的制品密度和热值相对未处理制品有显著提升，并且该类制品疏水性高、燃烧灰分低。Liu等通过试验发现水热处理后的生物质颗粒燃料具有较高的碳含量和燃烧热值，并且燃烧灰分低，但该类处理方式会在一定程度上降低制品抗张强度。Reza等则将水热处理和低温热解后的生物质原料混合制备固体燃料，发现制品热值显著提升，但会降低耐久性。

综上所述，预处理后的生物质具有原料特性均匀的优势，能在一定程度上解决生物质原料本身较低的体积能量密度和物料特性差异大的问题，预处理生物质燃料制品的成型能耗及制品热值、密度均能得到有效改善。但需要指出的是：部分物理改性措施会带来较高的原料成本，并且添加剂在燃烧时可能会带来潜在的环境污染；其次，各类原料预处理方式会对成型能耗、制品热值、制品密度和制品强度带来综合影响，难以寻求到最佳的预处理方式既能同时降低能耗，又能提高制品热值、制品密度和强度，实际应用时需要综合考虑予以选择，这是生物质原料预处理技术中比较突出的问题；另外，当前研究成果主要关注木质类生物质原料的预处理，而我国具有大量的农作物秸秆需要进行能源化利用，秸秆原料具有较高的挥发分，进行预处理时需要充分考虑这一因素。

3预处理生物质原料致密成型试验初探

3.1试验条件

为研究预处理对生物质致密成型效果的影响，对秸秆进行烘焙预处理后压制成型，并测试成型能耗、制品密度、抗张强度及热值。试验原料为水稻秸秆，烘焙预处理条件为：温度240，氮气环境，处理时间30min。将所得的固体产物粉碎后利用自制制粒装置进行压制成型。制粒装置外接电子万能试验机（该型试验机由济南恒瑞金公司生产，型号为WDW-100），最大试验载荷为100kN，横梁移动速度为0.01 ~ 100mm/min、具备无级调速功能，精度为1级，横梁活动范围为0 ~ 800mm，配备相关微机及控制软件。烘焙预处理后的秸秆原料及试验平台如图3所示。

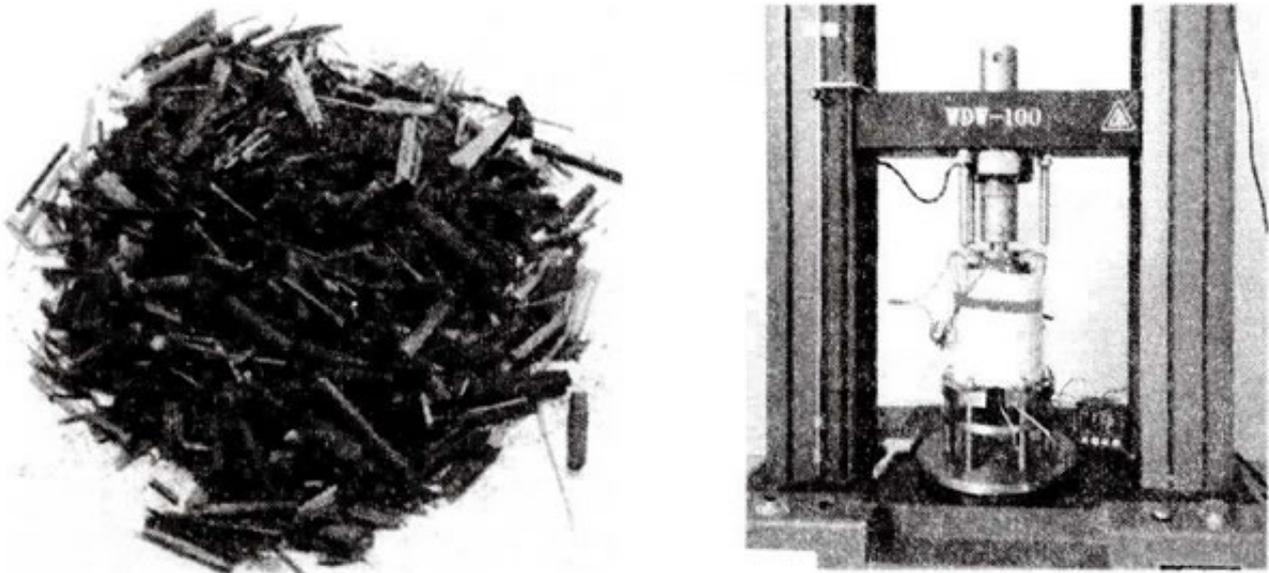


图3 烘焙预处理秸秆及试验平台

Fig. 3 Torrefied rice straw and pelletization platform

3.2试验结果及分析

烘焙预处理后的稻秸成型燃料如图4所示,成型特性试验数据对比表2。烘焙预处理后稻秸颜色变深,主要是由于预处理致含碳量增加所致。烘焙处理稻秸的成型能耗降低11.52%,制品密度提高了7.99%,制品热值提高了15.01%,而制品轻度降低了11.3%,可满足使用需要。由此课件烘焙预处理能有效降低成型能耗、提高制品热值,节能增热效果显著。但需要合理控制烘焙预处理条件,以达到节能增热与制品强度的合理平衡。后续工作将对烘焙预处理工艺与秸秆原料的成型特性、制品品质关系进行深入研究。

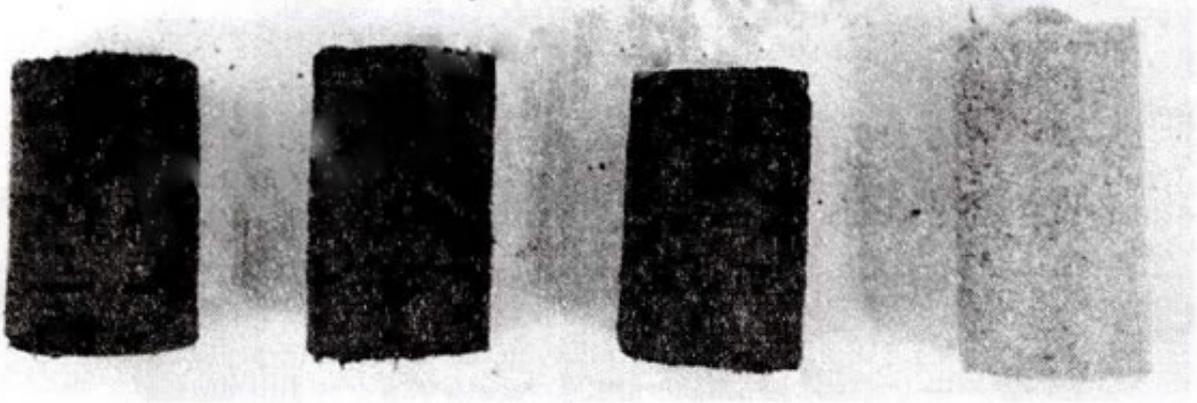


图 4 烘焙预处理及未处理秸秆成型燃料

Fig. 4 Torrefied and non-pretreated rice straw pellet

表 2 稻秸预处理前后成型特性对比

Tab. 2 Comparison of densification characteristics of the torrefied and non-pretreated rice straw

序号	预处理方式	测试指标			
		比能耗 $/(J \cdot g^{-1})$	制品密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	抗张强度 $/MPa$	热值 $/(MJ \cdot kg^{-1})$
1	无	50.089	1.051	1.130	14.753
2	烘焙处理	44.321	1.135	1.002	16.967
3	变化范围/%	-11.52	7.99	-11.33	15.01

4结论

1) 构建清洁低碳、安全高效的能源体系为我国长期的能源发展战略,生物质致密成型具有工艺简单、生产效率高等优势,是当前研究和开发的热点。但该项技术需要解决成型设备能耗高、制品品质不稳定和热值偏低等问题。

2) 预处理后的生物质原料具有特性均匀的优势,可在一定程度上解决生物质原料本身体积能量密度低和物料特定难控制的问题,预处理生物质原料的成型能耗及制品热值、密度均能得到有效改善。但同时要注意预处理成本、添加剂污染、预处理带来的制品强度降低以及秸秆原料的高挥发分问题。

3) 烘焙处理稻秸压制成型试验表明：成型能耗降低11.52%，制品密度提高了7.99%，制品热值提高15.01%，而制品强度降低11.33%，可满足使用要求。烘焙预处理能有效降低成型能耗、提高制品热值，节能增热效果显著。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/133788.html>