

针对秸秆气化技术有效提高秸秆能源化利用的分析

阮 浩, 俞南杰, 章晨伟

(中国联合工程有限公司, 浙江 杭州 310052)

摘要: 作为农业大国, 在我国的可持续发展战略中, 秸秆能源化是十分关键的环节之一。然而, 尽管我国早在二十年前就已经开始关注秸秆能源化工作的开展, 但是, 受限于技术条件和经济基础, 秸秆能源化的利用效率并不高。基于此, 文章通过分析现阶段我国秸秆能源化利用存在的主要问题, 包括盈利难和技术局限等, 并在此基础上深度分析秸秆气化技术在提高秸秆能源化利用以及解决上述问题等方面的技术优势, 为相关从业人员的研究和实践提供新的视角, 以供参考。

关键词: 秸秆能源化; 利用效率; 秸秆气化技术; 优势

中图分类号: X71

文献标识码: A

文章编号: 1674-1064 (2022) 01-016-03

DOI: 10.12310/j.issn.1674-1064.2022.01.006

最近二十年, 传统化石燃料的枯竭以及与其使用相关的环境问题促使人们对废弃生物质的利用给予了极大关注。现阶段, 包括秸秆在内的农业废弃物生物质转化主要分为四类, 即直接燃烧、热化学转换、生化和农化过程, 旨在将农业废弃物生物质转化为替代燃料和化工原料等^[1]。

在众多农业废弃物生物质中, 秸秆以其巨大的产量和转化为清洁能源、生化和工业产品方面的极大潜力, 成为相关领域专家学者和从业人员关注的重点^[2]。

然而, 受限于技术条件, 现阶段秸秆的能源化利用存在一定的问题, 急需一种技术手段提高秸秆能源化利用的有效性。

1 秸秆能源化利用主要问题

1.1 秸秆能源化盈利难

在全球变暖的背景下, 能源系统向低碳技术的持续转型, 不仅依赖于各种支持可再生能源机制的政策组合, 还依赖于该技术是否能够降低投资风险, 进而从中盈利^[3]。

为此, 我国农业部早在2001年已经形成了“秸秆能源化系统技术条件及验收规范”及“秸秆能源化装置和系统测试方法”, 并对农村秸秆能源的生产、输送及应用系统的设计、建造及运行进行了标准制定^[4]。

但是, 在秸秆能源化建设过程中, 由于秸秆碱含量高, 在超过1 200 °C高温下, 生物浆料中炭的灰分成分熔化, 并作为炉渣沿着内壁向下流动。出于这个原因, 炉渣黏度必须在一定范围内以在反应器壁形成保护层并保证连续去除。由于反应器中的几个分馏过程, 反应器壁处的炉渣成分与浆料灰分不直接对应。因此, 秸秆的能源化过程中, 可能会出现问题, 导致反应器结垢。

由于没有设备装置标准, 造成没有相应的规范标准进行

评判, 而在实际设备应用过程中, 经常会出现设备频繁出现问题, 而并没有良好的售后服务, 并且秸秆能源化在实际运行过程中并没有相应的市场运营管理机制进行管理, 由此, 导致秸秆能源化盈利难的问题。

1.2 转化技术存在局限

秸秆是一种低密度材料(70 kgm⁻³), 这使得它体积庞大并且难以搬运和运输到储存场所进行能量转换。在现有技术条件下, 秸秆的能源化转化技术主要有三种, 分别是直接燃烧、秸秆热解和秸秆气化。其中, 秸秆燃烧是最古老的生物质热转化方法, 占世界生物能源产量的近97%。

在该过程中, 原料经受高温(通常高于700 °C)和过量空气以产生主要由CO₂、H₂O、N₂和热量组成的气态产品; 秸秆热解是在完全没有氧气的情况下, 在低于600 °C的温度下对生物质进行热转化, 以产生更高能量密度的材料, 包括炭、生物油和气体产品; 秸秆气化通常在高于600 °C的温度下发生, 氧气供应量仅为理论上完全燃烧所需的氧气量的一小部分^[5]。

由此产生的气态产品, 通常由氢气、一氧化碳、甲烷、二氧化碳和氮气组成, 比原始原料更通用, 可以燃烧以产生工艺热量和蒸汽, 或用于燃气轮机发电^[5]。具体的工艺条件和产品如表1所示。

表1 秸秆能源化工艺、工艺条件和产品表

工艺条件	工艺		
	秸秆热解	秸秆气化	秸秆燃烧
温度	300 °C~600 °C	> 600 °C	> 700 °C
反应时间	1 s (快速热解) N天 (慢速热解)	几秒到几分钟	——
空气供给 (λ)	$\lambda = 0$	$\lambda = 0.2 \sim 0.5$	$\lambda \geq 1$
气态产品	CO, CH ₄ , C _x H _y , CO ₂ , H ₂ O, 裂解油, 含N和S的化合物	CO, H ₂ , CO ₂ , H ₂ O, CH ₄ , C _x H _y , 焦油, NH ₃ , NO _x , H ₂ S, COS	CO ₂ , H ₂ O, CO, C _x H _y , NO _x , SO _x

续表

工艺条件	工艺		
	秸秆热解	秸秆气化	秸秆燃烧
固体产品	C _m , H _n , O _k , (N, S), 灰 灰灰	C, (N, S), 灰 灰	灰灰, (N, S)
转化效率	≤ 70%	≤ 90%	≤ 20%

资料来源：《全国农作物秸秆资源调查与评价报告（2020年）》

如表1所示，在三种工艺中，燃烧最容易达到，但是能源化效率最低；气化最难达到，但是能源化效率最高；热解居于中间。由于热解和气化的核心反应中，生物质的不可逆降解在约150℃~200℃的温度下开始，即使原料被空气中的氧气包围，它也不会参与反应，因为在此过程中产生的热解气体从生物质颗粒中流出，并阻碍了氧化反应。

但是，随着工艺温度的持续升高，会被动地引入一些氧气（小于理论氧气）。此时，温度和氧气供应的任何进一步增加都会导致燃烧反应。因此，在热解和气化热转化过程中产生的产品成分和转化效率取决于工艺条件。

2 秸秆气化技术的技术优势

2.1 原料适应性较高

秸秆能源化是通过热过程（即直接燃烧、气化、热解）进行的生物质转化，将秸秆生物质分解成各种固体、液体和气体成分。不同的工艺条件。例如，温度、反应时间、加热速率、氧气的存在与否、催化剂的使用和压力，都会影响生成产品的分布和质量。不仅如此，不同农作物的秸秆在粒径、比热容和热导率等物理特性方面有所不同，而这些物理特性会影响能源化过程中热量和氧气穿透生物质颗粒的速率。

例如，大粒径的秸秆往往导热系数低，热量和传质速率低。由于秸秆是一个较为广泛的概念，指水稻、小麦、玉米等禾本科农作物成熟脱粒后剩余的茎叶部分。因此，对秸秆的再利用也是五花八门、十分丰富。

在此前提下，传统的秸秆能源化利用方法通常针对某一种或者某几种农作物的茎叶部分，在原料的适应性方面较差，因而在一定程度上削弱了秸秆能源化的利用效率。

此外，水分含量也是选择合适的转化技术的重要标准之

一。水分含量高于60%（按重量计）的秸秆原料通常具有非常低的热值，不适合直接燃烧和热解。

秸秆气化是在封闭的反应器或气化器中将生物质完全热分解成可燃气体、挥发物、焦炭和灰分。典型的气化工艺流程如图1所示。

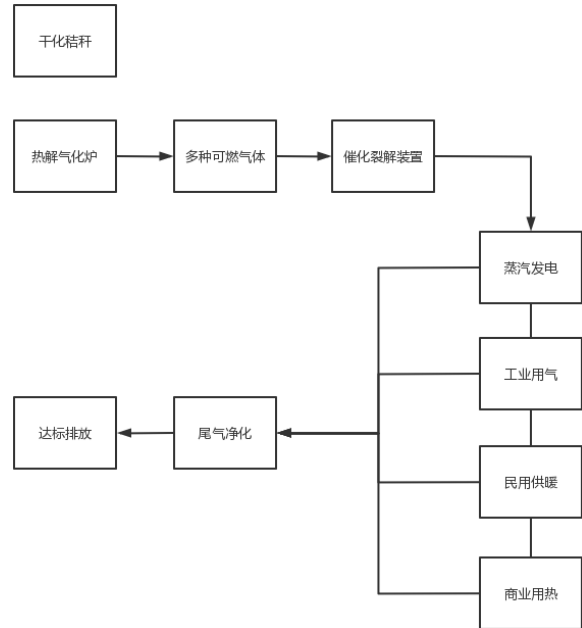


图1 秸秆气化工艺流程图

工艺链中，秸秆通过热解转化为由液态、富含焦油的相和炭组成的生物泥浆。之后，浆液被气化成不含焦油的低甲烷合成气，这是合成生物燃料的基本反应物。秸秆气化技术对于秸秆生物质的粒径、比热容、热导率和水分含量的要求相对较低。在不考虑干燥和进一步分解的情况下，秸秆气化技术能够产生更多的可燃气体，或者在气化过程中会产生更多的气态产物。

相比之下，秸秆气化技术对于秸秆生物质的粒径、比热容、热导率和水分含量的要求相对较低。在不考虑干燥和进一步分解的情况下，秸秆气化技术能够产生更多的可燃气体，或者在气化过程中会产生更多的气态产物。

气化涉及的基本反应如表2所示。

表2 秸秆气化技术基本反应

反应	过程	结果
部分氧化	$C + 1/2O_2 \leftrightarrow CO$	$\Delta H = -268 \text{ MJkmol}^{-1}$
完全氧化	$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$	$\Delta H = -406 \text{ MJkmol}^{-1}$
水气反应	$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$	$\Delta H = +118 \text{ MJkmol}^{-1}$
水煤气变换反应	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	$\Delta H = -42 \text{ MJkmol}^{-1}$
蒸汽甲烷重整	$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$	$\Delta H = +88 \text{ MJkmol}^{-1}$
烃类反应	$C_nH_m + nH_2O \leftrightarrow nCO + (n + m/2)H_2$	吸热

秸秆气化工艺旨在通过去除不可燃气体和水,进一步增加可燃成分(H_2 、 CO 、 C_xH_y)。产生的合成气,可用作加热、干燥、烹饪、生物燃料生产的能源,或用作热电联产系统发电。它还可以用作制造高价值化合物的原料。

此外,合成气中的 CO 和 H_2 是合成各种工业化合物(包括甲醇、氢气和氨等)的基础材料。醇类和柴油形式的燃料也可以通过费托法由合成气生产。

在气化过程中,生物质中存在的无机材料被转化为固体岩石状材料,称为炉渣或玻璃化炉渣或灰分,也是重要的化工原料。因此,秸秆气化技术在原料适应性方面,能够有效提高秸秆能源化利用率。

2.2 原料转化效率高

合成气是一种由固体燃料在高温高压下应用气化技术而得到的可燃气体混合物。合成气具有多种用途,例如燃气轮机燃料、固体氧化物燃料电池的阳极气体以及合成天然气和液体燃料的原料。这些应用通常需要合成气净化工艺,以消除污染物,包括硫化物、卤化氢、汞、碱金属和其他微量元素。

合成气传统上来自化石燃料,但来自生物质气化、水电解或 CO_2 电催化还原的合成气,除了生产成本更低之外,生产的合成气的污染成分更少,更符合可持续发展战略所需。

鉴于此,在现有的秸秆能源化技术工艺中,考虑到生物质气化可以使用广泛的原料和合成气发酵的优势,秸秆气化技术提供了一条有前途且独特的途径,可以通过气化的技术,从秸秆中生产合成气生产生物燃料,用于生产生物乙醇等。

在现有的秸秆能源化技术中,秸秆气化技术的原料转化效率是最高的,而这是由秸秆气化技术工作原理和气化炉的工作效率决定的。气化是一种高温部分氧化过程,其中,使用气化剂将固体碳质原料转化为气态混合物(H_2 、 CO 、 CO_2 、 CH_4 、轻质烃、焦油、炭、灰分和少量污染物)。

气化已被公认为是一种在材料分解和化学能方面产生良好结果的热过程。与生化技术相比,该技术更适合处理生物质废弃物,因为该技术产量大,适合替代化石燃料。与其他热技术相比,气化本身被认为更环保,但存在由系统中产生的焦油引起的结垢和堵塞的实质性缺点。

由于焦油在较低温度下会发生冷凝和聚合,这会干扰管道系统以及下游组件。相比之下,在秸秆气化中,气化炉产生几乎不含焦油、甲烷含量低的粗合成气,并且较短的反应器停留时间和较高的压力导致反应器更小、更经济且具有更

高的生产量。

当然,由于气化炉中的温度较高,因此会以消耗更多氧气或空气以及相应降低冷气效率为代价获得更清洁的合成气。然而,这部分被低甲烷含量补偿,对于每一百分比的 CH_4 : $CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$,会使 $CO + H_2$ 合成气产率降低4%。因此,平衡产率和动力学通过更高的压力得到改善,并允许高达1 GW(th)或更高、更经济的容量。

此外,秸秆气化技术对秸秆能源化经济性的另一个贡献是使用纯氧作为气化剂以避免合成气被空气中的 N_2 稀释。在气态碱相中,秸秆的无机成分,如钙和钾,可以与氧气反应生成氧化物成分。氧化钙的反应可以在空气中超过300 °C的温度下发生从而导致床层结块堵塞,导致床层压力下降。

因此,秸秆气化过程可以减少床料堆积并延长脱硫时间。相较于其他工艺,秸秆气化装置可以在一个特殊的喷嘴中以加压氧气作为气化和雾化剂进行泵送和雾化。在中等压力下,也可以从加压流化床和惰性气流气动送入浓密的细炭或煤粉流,类似于发电厂中的粉状燃煤燃烧器,进而增加秸秆气化的能源转化效率。

3 结语

综上所述,秸秆能源化是一个有价值的过程,需要更多的关注,以经济和环保地利用秸秆这一农业废弃生物质。这项研究中提出的工作有助于提升现阶段秸秆能源化的转换效率,创造除化石燃料以外的其他燃料来源。当然,如何实践秸秆气化技术对秸秆能源化利用的有效提高,还需要在未来应用中不断总结。

参考文献

- [1] 程军.农村秸秆资源化利用方式[J].湖北农机化,2020(15):10-11.
- [2] 黄雪丽,舒志强.生物质能发电厂秸秆气化系统的安全分析[J].机电信息,2020(14):32-33.
- [3] 郭祥.生物质厌氧发酵耦合热解气化试验研究与机理分析[D].天津:天津大学,2019.
- [4] 许承杰.北方秸秆气化在农村中的应用[J].农民致富之友,2018(24):248.
- [5] 田兴云.酒泉市肃州区农作物秸秆资源综合利用现状及对策[J].农业科技与信息,2018(14):54-55.