

生物质秸秆成型燃料特性分析

王许涛¹，张百良²

(1.河南城建学院，河南平顶山467036；2.河南农业大学农业部可再生能源重点开放实验室，河南郑州450002)

摘要：作为一种由秸秆转化的可再生清洁能源，生物质秸秆成型燃料有许多优点。文中分析了生物质秸秆成型燃料的资源特性、物化性质、燃烧特性和技术经济特性。发现生物质成型燃料有着较为丰富的资源，成型后密度增加，使运输储存优于

原生物质；燃烧特性不失原

生物质特性又与煤炭相似，易点燃、燃烧完全，烟尘中

的CO₂，SO₂，NO_x

浓度比煤炭少；但较高的碱金属和Cl含量会导致燃烧时的腐蚀和沉积；当前技术经济性不突出，综合环境效益考虑是一种不错的补充能源选择。

1 秸秆成型燃料现状

生物质能是指生物质中所蕴藏的化学能，是绿色植物经光合作用将太阳能转化为化学能后储藏于自身的能量，是地球上唯一可再生的碳源，可以被加工转化成

常规的固态、液态和气态燃料^[1]

。随着中国工业化进程的不断加快，能源紧张和环境污染的问题日渐凸显，发展清洁能源和寻求常规煤炭等能源的洁净燃烧技术的需求日趋紧迫。每年农作物收获季节大面积焚烧秸秆造成环境的严重污染，也增加了社会对废弃秸秆处理的关注，不断从另一个侧面推动着秸秆资源转化进程。

中国将生物质能作为一种可

再生、清洁新型能源的研究和开发利用始于20世纪80年代^[2]

，产量已从5a前的30万t提高到了目前的300万t以上，发展迅速，但与发达国家相比还存在较大差距。秸秆成型燃料生产机械和产品种类缺乏相应的行业标准，因而产品参差不齐，相对于产业化发展还有较大差距。

2 秸秆成型燃料特性

2.1 资源特性

中国作为一个农业大国，有着丰富的农作物秸秆资源。依据目前的粮食产量和草谷比，计算得出中国年秸秆生产量约为6亿t，按照25%可用作能源计算^[3]，约有1.5亿t秸秆可用来生产成型燃料。

但同时也应看到，中国的农田还是分散种植，不利于大规模的机械化作业，因此秸秆资源相对比较分散，加之秸秆体积大、密度低和单位发热值受采收时间影响，导致秸秆资源收集和储存比煤炭等燃料困难。

2.2 物化特性

秸秆成型燃料是通过将收集的松散秸秆经脱水、粉碎后挤压成形状较为规则且较大密度的棒状、块状、球状或颗粒状的固体燃料，目前以棒状和颗粒状较为常见。压缩成型燃料物化特性已不同于秸秆，解决了秸秆堆积密度小、能量密度低、不易储存和运输的缺点，密度、发热值会随压缩方式、生产工艺不同而变化，主要参数见表1。

表1 秸秆成型燃料主要参数

水分/%	灰分/%	挥发分/%	固定碳/%	硫分/%	碱金属/%	硅/%	密度/(g·cm ⁻³)	低发热值/(MJ·kg ⁻¹)
8	5.93	70	10-17	0.08-0.30	1	0.2-0.8	0.8-1.3	15.55

2.3 燃烧特性

秸秆成型燃料较散状秸秆燃烧性能大大改善，燃烧效率可以由秸秆直接散烧的10%~15%提高到30%~40%。同时相对于煤炭有着挥发性高、易引燃、灰分少的优点，烟气中仅有微量SO₂，作为可再生能源可实现CO₂零排放、环境污染小^[4]。

2.3.1 秸秆成型燃料的点火性能

秸秆成型燃料致密的结构会抑制成型燃料燃烧时挥发分向外析出速度和空气向内扩散的速度，同时还会降低热量由外向内的传播速度，秸秆成型燃料的点火性能比散状生物质秸秆明显下降^[5-6]。

实验表明点火所需时间约为2~3min，影响点火性能的主要因素为生物质成型燃料的结构致密度(密度)、挥发分含量以及固定碳含量。

生物质成型燃料的点火温度

、点火时长随着其密度的增加而升高和延长，密度为1.2g

/cm³的秸秆成型燃料点火时间比密度0.8g/cm³

的要长1倍以上；点火温度在300~400℃，比

原生物质秸秆提高50℃左右^[7]

；挥发分含量越高的秸秆成型燃料越容易点燃着火，总的来看，秸秆成型燃料的点火特性更趋于原秸秆点火特性而优于型煤^[8]。

2.3.2 秸秆成型燃料的燃烧机理

秸秆成型燃料在炉膛燃烧时，燃烧类似型煤的燃烧过程属于静态渗透式扩散燃烧，但仍不失生物质秸秆散烧的特性。整个燃烧过程可以参照煤炭的燃烧机理大致划分为点火(挥发物燃烧)、扩散燃烧(可燃气体与碳混合燃烧)、平稳燃烧(焦炭燃烧)、燃烬(灰烬，残余微量焦炭)4个阶段^[9-11]。

点火秸秆成型燃料表面可燃挥发物燃烧，进行可燃气体和氧气的放热化学反应，形成火焰。由于其结构密实、无孔缝，导热系数小，可燃挥发气体释放速度慢，所以燃烧缓慢、火焰长而无力。随着秸秆成型燃料受热后内部的挥发分缓慢、持续析出、燃烧持续约10min。

扩散燃烧随着燃烧温度的不断升高，燃烧开始进入表面焦炭过渡燃烧阶段，生物质成型燃料表层的碳开始燃烧和少量由内部逸出的可燃气体的燃烧，炭化不断向燃料内部发展。

平稳燃烧随着燃烧的持续，蓝色外焰变薄，火焰变得短而有力，燃烧开始变得猛烈，燃烧向更深的焦炭层渗透。

这个阶段在燃料表面进行的是CO的燃烧，燃料内层则

是炭燃烧^[12]

。由于空气和烟气场的相对扩散，生物质成型燃料内部得不到足够空气，纤维素、木质素在高温下被气化生成CO，H₂，CH₄等可燃气体，它们不断向外扩散燃烧保证燃烧平稳进行，直至火焰逐渐变短、变强，这主要是焦炭的燃烧。

燃烬燃料中剩余碳继续燃烧。这时可燃物基本燃尽，火焰变短，颜色开始由亮变暗，直至消失，此时燃料已变成暗红色灰块，整个燃烧过程大约持续60min。燃烧温度变化曲线如图1所示。

燃烧的初始阶段温度上升较快，扩散燃烧和平稳燃烧阶段温度上升速度逐渐减慢，温度较高，燃烬阶段温度开始逐渐下降。

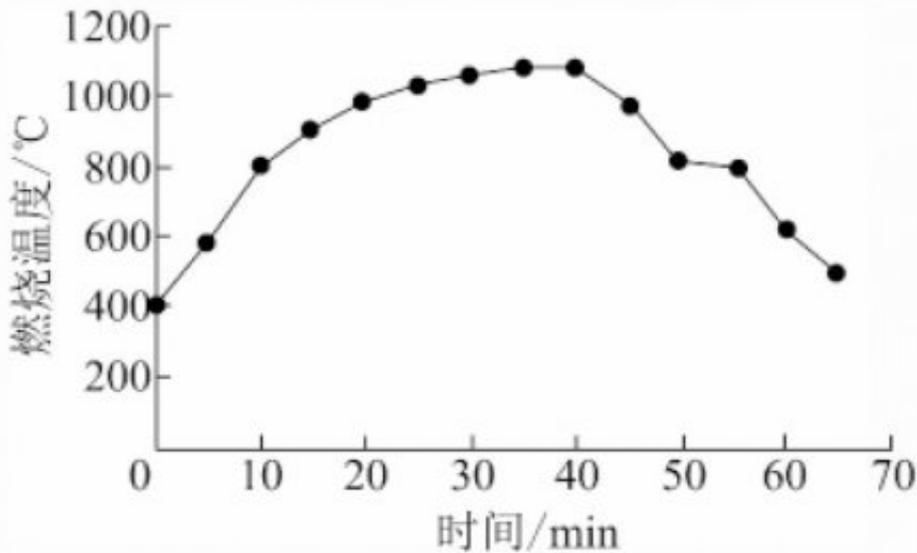


图 1 秸秆成型燃料燃烧过程温度曲线

2.3.3 秸秆成型燃料烟尘、沉积腐蚀

生物质秸秆成型燃料在生产过程中不发生化学变化，成分与原生物质秸秆相差不大，而燃烧时所排放烟尘除数量（不高于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ ）有所减少^[13-14]

，其与原生物质秸秆烟尘成分未有明显差别，烟尘主要产物组分见表2。生物质秸秆成型燃料Cl含量较高，会导致炉膛内严重腐蚀，同时燃烬物易出现类似于煤炭的结渣现象，其沉积和腐蚀机理为秸秆中含有1%以上的钾及其它金属元素，燃烧过程中易挥发的碱金属盐在700 左右的高温下进入炉膛的气相，挥发性灰分和其它细小颗粒一部分会在冷凝面上凝结形成初始沉积层。随着温度升高表面会出现熔融黏结面，较大的颗粒烟尘撞击到初始沉积面上形成新的沉积层^[15-16]

，当炉膛温度高于780 时，这些沉积物形成玻璃状的渣(复杂混合物)，严重结渣导致锅炉不能正常运转。一般大型生物质锅炉每10~12个月要停一次炉，进行一周左右的清理。

表 2 秸秆成型燃料烟尘排放主要产物含量

成分	CO/%	CO ₂ /%	SO ₂ /(mg·m ⁻³)	NO _x /(mg·m ⁻³)
含量	0.3	5.9~11.4	<900	<650

生物质秸秆成型燃料中Cl含量高达0.2%~3.0%，这是生物质秸秆不同于煤及其它矿物质燃料最显著的特点。生物质燃烧炉中，Cl₂

及各种形态的氯化物对水冷壁的腐蚀作用最大，因为H

Cl和Cl₂

具有穿透金属氧化保护膜的能力，并与铁反应形成铁的氯化物。在高温、高氧化性环境的炉膛内，氯化铁极易再次被氧化而形成较厚的氧化铁剥落层。烟尘中的SO₂，SO₃

与沉积层中铁的氯化物反应并生成(亚)硫酸铁而放出Cl₂

，会重复气态腐蚀过程，加剧炉膛腐蚀。另外，KCl，CrC

l₂和FeCl₂

碱金属氯化物会与金属表面或金属氧化物反应形成低熔点(350~450)共晶化合物，造成秸秆成型燃料结渣问题^[15]。

2.4 技术经济特性

生物质秸秆收购价格为400元/t，加上运输费用、储存费用、加工过程的人工和燃料费、设备折旧等费用，成本价在500~550元/t。此价格和目前的动力煤炭销售价格500~600元/t相比没有任何优势，但如果加上政府给予的清洁能源补

贴，基本上能够持平或有盈余。在煤炭价格高于600元/t后，再加上秸秆成型燃料不可比拟的环境效益，其所具有的技术经济性优势开始显现，尤其是用做小型锅炉、鼓风机、炊事等农村能源时就更加明显。

3结论

1)生物质成型燃料作为一种清洁可再生能源，有着相对较为丰富的资源，克服了秸秆的热量密度低、不易储存和运输等问题，但生产设备和产品亟待标准化以推动和促进生物质成型燃料工业化进程。

2)生物质成型燃料的物理特性、点火特性更接近原生物质，而优于煤炭。燃烧过程属于静态渗透式扩散燃烧，类似型煤，可以

划分为挥发物燃烧、扩

散燃烧、平稳燃烧和燃烬4个阶段，燃烧排放的

烟尘浓度低，CO，CO₂，SO₂，NO_x

浓度都比煤炭少，但较高的碱金属和Cl含量会导致受热面金属的腐蚀和烟尘沉积。

3)不计环境效益时，目前的生物质成型燃料技术生产水平下的经济性与煤炭相比没有优势，需要政府的政策才能取得大的发展。

参考文献：

[1]赵军，王述洋.我国生物质能资源与利用[J].太阳能学报，2008，29(1)：90 - 94 .

[2]王民，郭康权.秸秆制作成型燃料的试验研究[J].农业工程学报，1993，9(10)：99 - 103 .

[3]张百良，徐贵转，王吉庆，等.中国生物能源利用的思考[J].农业工程学报，2009，25(9)：226 - 231 .

[4]张百良，王许涛，杨世关.秸秆成型燃料生产应用的关键问题探讨[J].农业工程学报，2008，24(7)：296 - 300 .

[5]罗菊香，王仁章.改性稻壳作为型煤黏结剂的研究[J].洁净煤技术，2012，18(5)：35 - 38

[6]樊峰鸣，杨波，翁伟，等.炊事炉燃用SDBF的试验研究[J].可再生能源，2006(1)：22 - 25 .

[7]宋永利，杨丽华.工业锅炉生物质燃烧技术[J].节能技术，2003，21(3)：44 - 45 .

[8]马孝琴，李刚.小型燃煤锅炉改造成 SDBF 锅炉的前景分析[J].农村能源，2001(5)：20 - 22 .

[9]刘圣勇，王艳玲，白冰，等.玉米秸秆致密成型燃料燃烧动力学分析[J].农业工程学报，2011，27(9)：287 - 292 .

[10]潘伟林，朴桂林，谢浩，等.生物质半焦燃烧特性实验研究[J].洁净煤技术，2013，19(1)：83 - 86，96 .

[11]樊峰鸣，张百良，李保谦，等.大粒径生物质成型燃料物理特性的研究[J].农业环境科学学报，2005，24(2)：398 - 402 .

[12]马孝琴.生物质(秸秆)成型燃料燃烧动力学特性及液压秸秆成型机改进设计研究[D].郑州：河南农业大学，2002 .

[13]孙琦，胡仰栋，伍联营.基于CFD的影响甲烷燃烧炉NO_x排放因素的研究[J].洁净煤技术，2012，18(6)：67 - 71 .

[14]赵青玲.秸秆成型燃料燃烧过程中沉积腐蚀问题的实验研究[D].郑州：河南农业大学，2007 .

[15]Thomas R.Miles，Thomas R.Miles Jr，Larry L.Baxter，et al.Boiler deposits from firing biomass fuels[J].Biomass and Bioenergy，1996，10(2/3)：125 - 138 .

[16]李文雅.生物质成型燃料层燃锅炉结渣特性的研究[D].郑州：河南农业大学，2007 .

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/117250.html>