

提高湿地植物类生物质颗粒燃料热值的方法

许艳波¹, 李伟奇², 林静¹

(1深圳市碧园环保技术有限公司, 2深圳市百川检测有限公司广东深圳518028)

摘要：从使用添加剂（抗结渣剂、氧化剂、提卡剂、助燃剂）、控制适宜的工艺参数及借助先进的燃烧器等几个方面进行分析，提高以湿地植物为原料的生物质燃料的热值。

人工湿地作为一种生态治理技术，其水质净化机理包括微生物降解、填料吸附、拦截和湿地植物的吸收，通过湿地植物的收割，湿地系统中大部分污染物被去除。但收割后湿地植物如得不到妥善处置，将会被二次污染，影响景观并可能带来安全隐患。湿地植物作为一种生物质资源，利用途径包括堆肥、发酵、生物质碳化、生物质能源等方面。生物质能源作为一种可再生资源，是仅次于煤炭、石油和天然气之后的第4大能源，在整个能源系统中占有重要地位。生物质的灰分含量低于煤，经完全燃烧，煤的灰分在10%~15%，生物质燃料的灰分小于10%，含氮量通常比煤小，特别是含硫量比煤少的多，煤的含硫量一般为0.5%~1.5%，而生物质含硫量一般小于0.4%。每消耗1t农作物秸秆就可减排CO₂1.5t，SO₂1kg^[1-3]。

生物质燃料的性能和其它化石类燃料对比见表1^[4]

。从表1可见，生物质燃料有经济、环保、安全等诸多优点，这是它相对于其它燃料最具有吸引力的原因所在。但其热值最低，如将生物质燃料在保持现有性能不降低的前提下，提高其热值，将使生物质燃料在和其它能源的市场竞争中优势更加明显。因此本文对如何提高生物质燃料热值或者提高生物质燃烧过程中的燃烧效率进行研究和探讨。

表1 生物质燃料与石化燃料性能对比

项目	燃料名称	热值 / (kJ · kg ⁻¹)	热效率 / %	价格 / (元 · t ⁻¹)	有效热价 / (元 · (4.184 × 10 ⁴ kJ) ⁻¹)	环保性	经济性	安全性
1	煤炭	20935	60	1000	3.333	最差	较好	较高
2	生物质	16748	80	1000	3.125	好	最好	最高
3	柴油	43963	90	7000	7.407	较好	最差	低
4	重油	40195	85	5000	6.127	较差	较差	中
5	天然气	36000	90	4000	5.168	最好	差	最低
6	水煤浆	18842	83	1200	3.213	较好	好	较高

1人工湿地植物制备生物质颗粒燃料的可行性分析

人工湿地植物种类繁多，常用品种有香根草、美人蕉、风车草、蜘蛛兰、花叶芦荻、芦苇等。其性质类似于秸秆类植物^[5]

，但又不完全相同，为确认湿地植物制备生物质颗粒燃料的可行性，对植物进行了工业分析及元素分析，并根据经验公式计算各植物相对应的热值，结果见表2和表3。

表 2 摇湿地植物的工业分析

%

	水分	灰分	挥发分	固定碳
香根草	6.66	4.08	76.01	13.25
美人蕉	7.02	7.3	73.02	12.66
风车草	6.33	5.86	76.25	11.56
蜘蛛兰	6.43	13.33	70	10.24
芦笛	6.43	5.28	75.71	12.58
芦苇	6.46	6.41	74.7	12.43
生物质固体成型 燃料性能要求	<13	<10	/	/

表 3 摇湿地植物的元素分析及低位热值计算结果

	C	H	N	S	O	热值 (kJ/kg)
香根草	43.51	5.75	0.55	0.21	49.98	15069.46
美人蕉	44.56	6.33	0.34	0.52	48.25	16235.01
风车草	42.66	6.07	0.87	0.30	50.1	15115.25
蜘蛛兰	42.99	6.42	0.97	0.43	49.19	15697.78
芦笛	43.34	5.57	1.32	0.36	49.41	14911.02
芦苇	42.12	5.67	1.24	0.39	50.58	14475.23
性能要求	/	/	/	/	/	>13400

挥发分是燃料是否容易燃烧的一项重要指标，根据工业分析可以看出，几种湿地植物的挥发分都比较高，达70%以上。灰分是燃烧后的剩余物，灰分含量大，热效率降低，会减少部分热值。除了蜘蛛兰的灰分到13%外，另5种植物的灰分都在10%以内，燃烧后的产物较少。从分析结果看，湿地植物的各项工业分析指标均能满足制备颗粒燃料的要求^[6]。

通过植物的元素分析，根据经验公式计算得出各植物的低位热值中除了芦苇较低外，其它的都超过14700kJ/kg，符合生物质颗粒燃料的标准要求^[6]。

2 提高湿地植物类生物质颗粒燃料热值的途径

2.1 改善结渣现象

湿地植物类颗粒燃料，其燃烧特性类似于秸秆类颗粒燃料^[5]

，在燃烧过程中会产生结渣现象（如图1），其中灰色的部分是燃料完全燃烧后的产物，黑色部分是燃料不完全燃烧后的产物，即燃料结渣。结渣降低了燃料燃烧效率，发热量减少，影响其热值发挥^[7, 8, 9]。



图 1 燃料燃烧后的产物

结渣原因归结起来主要有以下2个：灰分熔点低（1200℃）：秸秆类生物质颗粒燃料灰熔点一般低于1200℃，属于可熔性灰，

而且灰分含量较高，因此在

燃烧过程中容易结渣^[10]。灰分中碱金属氧化物含量高

（ K_2O ， Na_2O ）：秸秆灰中的碱金属化合物（ K_2O ， Na_2O ）与 SiO_2

反应生成低熔点的共晶体，熔化的共晶体流动、粘合形

成结渣^[11, 12, 13]。针对以上原因，采取以下途径改善其结渣现象，提高燃烧效率，从而使其热值得到提高。

2.1.1 使用抗结渣剂

（1）化学类方法。所谓化学类方法就是通过在秸秆中添加化学成分达到减少结渣现象的方法。可供选择的添加剂种类较多，效果较好的有高岭土、 $CaCO_3$ 等。袁艳文^[12]等使用 $CaCO_3$ 、 $MgCO_3$ 、 Al_2O_3 等对秸秆燃烧中抗结渣效果进行了研究，结果见表4。

表 4 摇不同添加剂抗结渣性能对比

种类	结渣率 /%	热值 / (kJ/kg)	价格 / (元/t)	增加成本 / (元/t)
MgCO ₃	0	13400	3800	109.5
CaCO ₃	2.25	14070	590	13.2
Al ₂ O ₃	11.56	13520	2300	64.5
空白	36.80	13600	/	/

由表4可知，单看抗结渣效果，MgCO₃效果最好，结渣率为0，其次是CaCO₃，使用Al₂O₃结渣率也可以降低50%以上，但综合考虑成本等因素，CaCO₃性价比最高。而且最重要是使用CaCO₃后，生物燃料热值得到提高，提高幅度在420kJ/kg以上，和理论分析的结果一致。

南开大学的刘金鹏^[14]

等人发明了一种抗结渣剂，该添加剂由氧化钙、碳酸钙、氧化铁和凹凸棒石粘土混合制备而成，以一定的比例添加至秸秆生物质原料中。使用该添加剂生产得到生物质颗粒燃料，在燃烧过程中不容易发生结渣，燃烧效率提高。

²的排放。吉林大学的矫振伟[13]和赵子武[15]研究表明：使用75%的玉米秸秆和25%的稻壳粉制成的混合生物质颗粒燃料，可以实现不结渣。这主要是因为：稻壳粉的加入，可将颗粒燃料燃烧过程中灰的软化温度提高到1400℃，减小其结渣的可能性。该方法更经济、环保，符合当前生物质燃料的发展方向。

2.1.2 将秸秆进行预处理

秸秆或者湿地植物收割后放置在处置场内，经过雨水自然淋漓，其中的K元素就会被部分冲洗掉，结渣问题会因此减轻。使用热水对秸秆进行浸泡和洗涤，可脱出其中95%的K元素，但这样将耗费大量能源用于加热，和节能环保的理念背道而驰，所以并不可取。另外，在秸秆或湿地植物收割过程中，增加留在地面部分的秸秆高度，这样可以减少混入泥沙，防止泥沙中的SiO₂和湿地植物中的碱金属元素反应生成低熔点的共晶体，减少结渣，提高燃烧效率，进而提高燃料热值。

2.1.3 控制燃料颗粒密度

樊峰鸣[9]等人研

究了固体颗粒密度对其抗结渣性能的影响，结果表明：颗粒密度小于1.05g/cm³

时，燃料燃烧结渣率小于1.2%，颗粒密度大于1.05g/cm³

时，燃烧时间长，炉膛温度高，更易结渣。另一方面，在颗粒研制过程中往往期望其有更高的密度，因为高密度可以使单位体积的燃料燃烧释放的能量增加，从而减少运输和存储成本，研究者可以根据实际需求，合理控制颗粒密度，在满足燃料其它性能的同时，具有小的结渣率，从而充分发挥其热值。

方法2.1.2和2.1.3均无需任何添加，只是通过优化颗粒燃料制备工艺或者调整其工艺参数来实现热值的最大化，方法简单，易于实现。

2.1.4 使用技术先进的燃烧器

姚宗路[16]等人研制出PB-20型生物质固体颗粒燃料燃烧器，采用高效双层燃烧筒和螺旋清灰破渣装置，实现了三级配风，提高了燃烧效率，燃烧过程中能够有效地将灰渣排出，实现了连续稳定燃烧，解决了秸秆颗粒燃料由于灰含量高、灰熔点低导致燃烧过程中易结渣，燃烧器易熄火、燃烧性能差等问题。这虽是一种间接的提高生物颗粒燃料热值的方法，但从原理上看应该很有效。

2.2使用固体氧化剂

河南科技大学的研究者通过实验研究表明： MnO_2 ， Fe_2O_3 ， $KMnO_4$ 可作为改善生物燃料燃烧性能的氧化剂，相同条件下的试验结果见表5，由表5可见：3种氧化剂均能改善燃料的燃烧性能，使燃料趋于完全燃烧，提高了燃料的燃烧效率，其中 MnO_2 和 Fe_2O_3 效果较好。

表 5 添加不同氧化剂的催化燃烧效果

催化剂种类	试验现象
MnO_2	自蔓延燃烧, 表面温度可达 800℃ 左右, 持续燃烧约 30min, 完全燃烧
Fe_2O_3	自蔓延燃烧, 表面温度可达 700℃ 左右, 持续燃烧约 30min, 完全燃烧
$KMnO_4$	剧烈燃烧, 表面温度可达 1000℃ 左右, 持续燃烧约 5min, 完全燃烧
无催化剂	引发燃烧后, 很快熄灭

这类氧化剂的不足之处是其价格较高，均大幅增加了燃料成本。因此，一种叫做M的固体氧化剂应运而生，它是由湘潭大学环境工程系的罗婕[17]、田学达等人研制而成的。生物燃料添加M和空白实验的DTA对比曲线（图2），曲线中的放热峰面积对应样品在升温条件下的放热量[18]，可见添加M能大大提高生物质燃烧过程的放热量[17]。并且该氧化剂能够再生后循环利用，与表5中氧化剂相比，当生物质燃烧性能改善程度相同时，添加M在成本上有明显的优势。

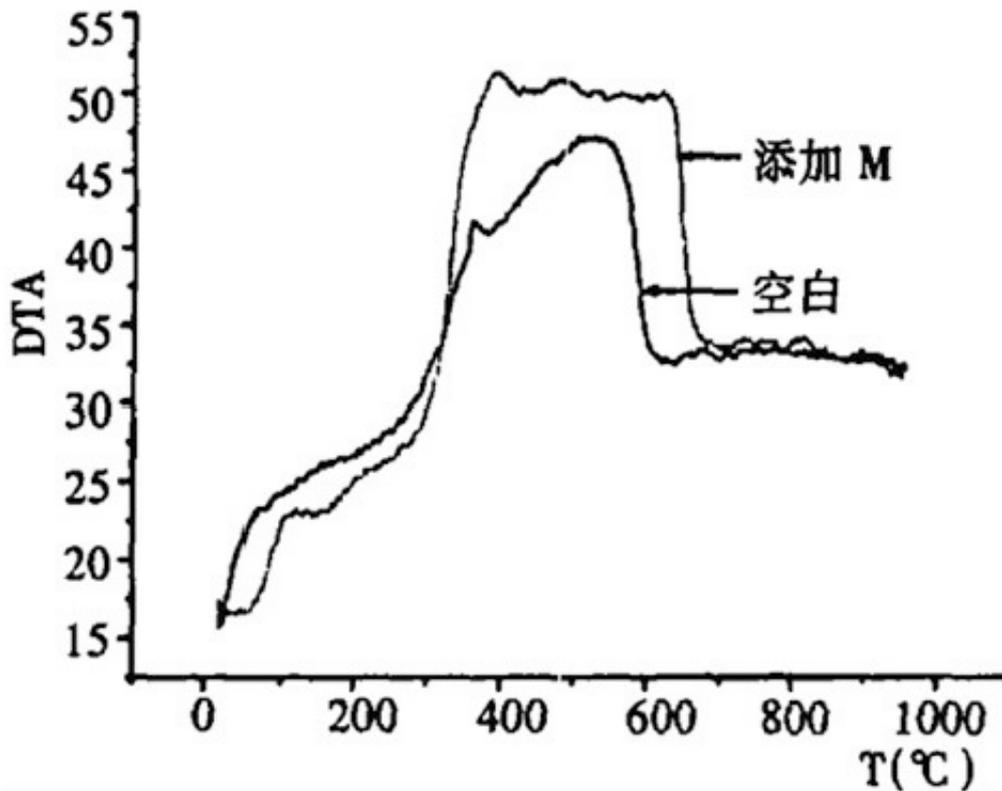


图 2 差热分析对比曲线

2.3使用提卡剂

提卡剂是一种无机固体添加剂，适用于生物质颗粒燃料、植物燃料、机制木炭。不管是大型锅炉，还是民用炉使用这种添加剂，都可提高热值1680~2410kJ/kg，使用量为0.3%左右，价格为5200元/t。作用机理大体上有2个方面：减少颗粒燃料中的水分；促使生物颗粒燃料产生可燃物，配入本添加剂后，使用效果为燃烧亮度增强，火力增大，火焰面积扩大，炉内温度提高。

由于提卡剂成分未知，其燃烧产物未知，是否会给环境造成危害也未知，因此，该方法只给研究者提供了一种供参考的途径，其实际应用效果还有待进一步验证。

2.4添加助燃剂

国内对于煤用助燃剂的研发时间较早，且煤用助燃剂种类多样，但是生物质燃料助燃剂的开发在近年来才逐步开始，这主要是因为生物质燃料在成型过程中，需经过摩擦、挤压，产生大量热量，如加入助燃剂将会在压制过程中产生火花，甚至起火，发生危险^[19]。

因此生物燃料

助燃剂的研发相比于煤用助燃剂

要困难很多。助燃剂的种类很多，主要介绍以下几种^[20, 21]：（高锰酸锌+二氧化镁）^[22]

；（镁菱土+硝酸镁+氧化镁+氧化铁）^[23]

；（高锰酸钾+氯酸钾+硝酸铵+三氧化二

铁+氧化钙+镁粉+木炭粉末）^[24]

；（白云石粉+碳酰二胺+海泡石粉+正辛醇+凹凸棒石粘土+异辛酸铈+纳米级氧化镁粉+高氯酸钾+氧化锰+丙酸钙）^[25]。

从上面助燃剂的成分不难看出：它们均含有高锰酸根或硝酸根等氧含量较高的成分，从而起到助燃作用，使燃料燃烧的更加充分，提高燃烧效

率。另外成分中均含有Mg或者MgO，Mg的热值为23064k

J/kg^[26]，远高于生物质燃料的热值约14700kJ/kg，其加入势必会使热值提高。

2.5降低颗粒物含水率

水分含量严重影响生物颗粒燃料的质量 [27]

，水分可以作为颗粒燃料造粒过程中的润滑剂粘合剂，适宜的含水率可以赋予生物颗粒燃料较好的强度和适宜的密度。含水率同样影响生物颗粒燃料的热值，因水分挥发需吸收热量，有研究人员在理论上证实了这一点。安徽国祯生物质发电有限公司的李永华^[28]

研究了生物质低位热值与水分的关系，研究结果表明生物质燃料的水分含量和热值呈负相关的关系，即水分含量越高，热值越低，因此，适当降低生物质颗粒燃料含水率，可在一定程度上提高热值。

3结束语

湿地植物本身固有的特性导致了其颗粒燃料燃烧热值低的现象，本文总结了一些提高其热值的方法，这些方法不管是抗结渣还是添加各类添加剂，其最终的目的大都是使燃料燃烧的更完全，提高其燃烧效率，进而提高燃料热值，方法归结起来包括以下几个方面：

（1）通过添加各种添加剂，包括抗结渣剂、氧化剂、提卡剂、助燃剂等，使燃料充分燃烧，提高燃烧效率，从而提高燃料热值。

（2）通过控制燃料生产过程中的工艺及工艺参数，如适宜的密度和含水率，在满足其它性能的前提下，使燃料热值最大化。

（3）借助于其它先进的设备和条件，如使用先进的燃烧器，使燃料热值充分发挥。

总之，将大规模人工湿地水质净化中的植物加工成生物质颗粒燃料，进行循环利用，可以给项目带来可观的经济效益，对实现项目的节能减排目标、生态环境建设和可持续发展均有不可估量的作用和贡献。通过现代科学技术积极主动地开发与利用生物质能源，使生物质燃料替代化石燃料成为可能，同时改善生态环境，缓解能源需求压力，促进能源结构多元化，这将是我们的追求的目标。

参考文献

- 1 苏伟.椰壳基微孔活性炭制备与表征[D].天津:天津大学,2003.
- 2 王海,卢旭东,张慧媛.国内外生物质的开发与利用[J].农业学报,2006 增刊,1(22):8-11.
- 3 陆强.生物质选择性热解液化的研究[D].合肥:中国科学技术大学,2010.
- 4 郭潮群.生物质燃料替代石化燃料的可行性研究[J].中国特种设备安全,2009,25(3):74-75.
- 5 何明雄,胡启春,罗安靖等.人工湿地植物生物质资源资源化利用潜力评估[J].应用与环境生物学报,2011,17(4):527-531
- 6 NY/T 1878-2010,生物质固体成型燃料技术条件[S].
- 7 李国华.谈谈煤气炉结渣[J].株冶科技,1994,12(4):55-57
- 8 陈丽珠,姚恩题.煤的结渣性测定的说明 [J].煤炭分析及利用,1996,(4):55-56
- 9 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.
- 10 姚宗路,赵立欣,RonnbackM 等.生物质颗粒燃料特性及其对燃烧的影响分析[J].农业机械学报,2010,41(10):97-102.
- 11 马孝琴.秸秆燃烧过程中碱金属问题研究的新进展[J].水利电力机械,2006,28(12):28-34.
- 12 袁艳文,林聪,赵立欣,等.生物质固体成型燃料抗结渣研究进展[J].可再生能源,2009,27(5):48-51.
- 13 矫振伟,赵武子,王瀚平,等.混合生物质颗粒燃料的燃烧特性[J].可再生能源,2012,30(6):77-80.
- 14 刘金鹏,鞠美庭,王治江,等.一种生物质颗粒燃料添加剂的制备和使用方法[P].中国.CN104087361A.2014.10.08
- 15 赵武子.生物质混合颗粒燃料热工特性研究[D].长春:吉林大学,2010.
- 16 姚宗路,孟海波,田宜水,等.抗结渣生物质固体颗粒燃料燃烧器

- 研究[J].农业机械学报,2010,41(11):89-93.
- 17 罗婕,田学达,魏学锋.固体氧化剂提高生物质燃料燃烧性能的研究[J].能源与环境,2005,(2):14-15.
 - 18 李国森,徐新.燃煤热分析[J].无机盐工业.1999,03(2):44-46.
 - 19 袁海荣.秸秆固化成型燃料助燃剂研制及燃烧特性试验与模拟研究[D].北京:北京化工大学,2010.
 - 20 崔旭阳,杨俊红,雷万宁,等.生物质成型燃料制备及燃烧过程添加剂应用及研究进展[J].化工进展,2017,36(4):1247-1257.
 - 21 袁海荣,左晓宇,李秀金,等.影响秸秆固化成型燃料点火过程的因素分析[J].农业工程学报,2009,25(6):224-228.
 - 22 黎诚.一种生物质成型燃料高效助燃物及生物质成型燃料输送机[P].中国.201510383453.1,2015.10.07.
 - 23 常厚春,马革,李祖芹.生物质成型燃料制备方法及其系统[P].中国.200910039714.2,2010.12.01.
 - 24 晏志勇;吴育能.一种提高工业锅炉使用生物质燃料的热效率燃烧方法[P].中国,CN106765060A,2017.05.31
 - 25 李素影.一种基于除硫助燃剂的生物质燃料 [P]. 中国, CN105238486A,2016.01.13.
 - 26 宋家琪.用于冲压发动机的富燃料固体推进剂的选择和评价[J].推进技术.1984,2(6)46-55.
 - 27 周闯,罗向东,秦国辉,等.浅谈生物质燃料固化成型技术[J].应用能源技术,2016,(8):54-55.
 - 28 李永华.生物质的低位热值与水分、灰分的关系研究[J].工业锅炉,2015,(1):31-33.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/154868.html>