

生物质秸秆燃烧特性的试验研究

刘瑞芝

摘要:通过对秸秆进行热分析与傅立叶红外光谱方面的研究,分析了秸秆的燃烧放热机理以及燃烧过程中释放的气体种类,并在燃烧特性方面与煤进行了对比。结果表明:秸秆在燃烧中共有两段明显的放热,第一阶段从255 放热开始至307 结束,释放的气体有CO₂、CO、烷烃、烯烃等;第二阶段从403 开始至443 结束,有CO₂和少量的CO放出,放热大部分集中在第一阶段。通过与某烟煤对比分析可知,秸秆的燃尽度较高,活性较好,热值为一般烟煤的一半之多,并且高温燃烧时释放出的气体对环境污染较小,在水泥窑中是一种较好的可替代燃料。

1引言

据统计,全世界每年农村生物质的产量为300亿吨,生物质能在世界能源消耗中仅次于石油、煤炭及天然气等化石能源,居第四,约占14%。我国生物质资源十分丰富,仅农作物秸秆的年产量便有7亿吨以上,折合标准煤约3.5亿吨。秸秆是一种低碳燃料,其含硫量、含灰量均低于目前大量使用的煤炭,对大气、环境质量的影响较低,是一种较为“清洁”的可再生能源。许多国家已经利用生物质秸秆发电,而水泥窑的燃烧温度较高,对秸秆的充分燃烧提供了较好的条件。因此,充分利用秸秆燃料,对于减少温室气体排放,改善环境质量具有重要意义。

如何有效利用生物质秸秆资源,已成为国内外众多学者研究的热点课题之一^[1~6]

,本文通过热红联用试验对秸秆进行了热分析与傅立叶红外光谱方面的研究,通过与某烟煤对比分析可知,秸秆的燃尽度较高,活性较好,热值为一般烟煤的一半之多,并且高温燃烧时释放出的气体对环境污染较小,在水泥窑中是一种较好的可替代燃料。

2秸秆的燃烧特性试验

2.1秸秆的热分析试验

本文采用的试验样品为天津附近郊区的废弃物农作物秸秆。秸秆经自然风干后粉碎至粒径为200 μm作为试验样品。表1为秸秆与某烟煤A的空气干燥基的工业分析,表2为秸秆空气干燥基的元素分析。

| 项目 | Mad | Aad | Vad | FCad |
|------|-----|-------|-------|-------|
| 秸秆 | 4.3 | 10.7 | 68.8 | 16.1 |
| 烟煤 A | 5.9 | 29.29 | 27.06 | 37.75 |

| 项目 | S _d | C _d | H _d | N _d | O _d |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 秸秆 | 0.15 | 39.8 | 2.05 | 0.84 | 38.5 |

从表1与表2可以看出,秸秆的水分和烟煤A的差不多,而挥发分含量比烟煤A高得多,达到68.8%,而灰分则比烟煤A低,只有10.7%,这说明秸秆很容易燃烧;而秸秆的硫含量不高,为0.15%,可以推断燃烧时放出的硫化物较

少，对空气的污染也较小。为进一步探讨秸秆的燃烧特性，先对其进行热分析试验，以下为试验条件：

热分析仪器：NETZSCHSTA409PC

气体种类及流速： O_2 13ml / min；吹扫 N_2 ：40ml / min；

保护 N_2 ：10ml / min

样品称重：20mg左右；试验温度：室温 ~ 700

升温速率：5 . 1K / min

热分析仪器可以在高温条件下对样品进行TG (Thermal Gravity)、DTG(Differential Thermal Gravity)、DSC(Differential Scanning Calorimeter)等的检测，将试验样品置于坩埚中,通入氮气和氧气，加热到700 （多次试验证明700 时秸秆已经燃烧完全）。图1为秸秆在空气中加热到700 时的热分析曲线。

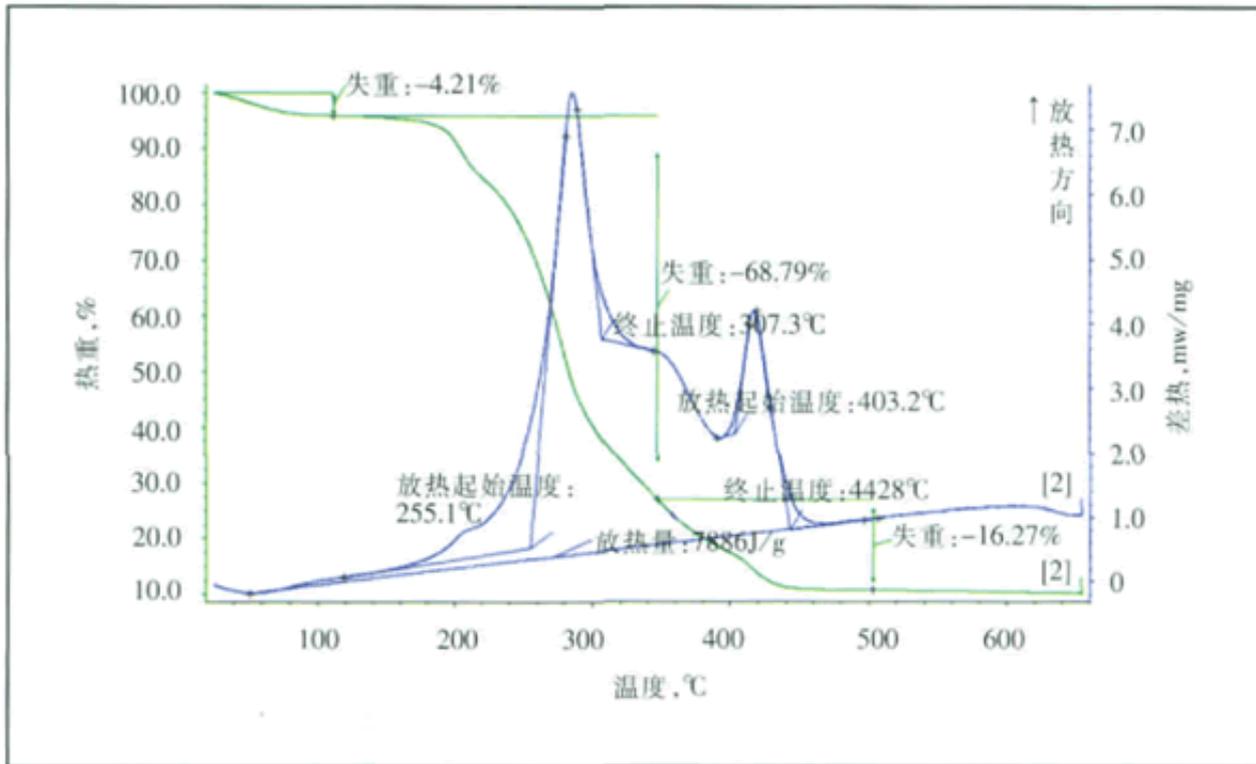


图1 秸秆在空气中加热 700°C 的热分析曲线

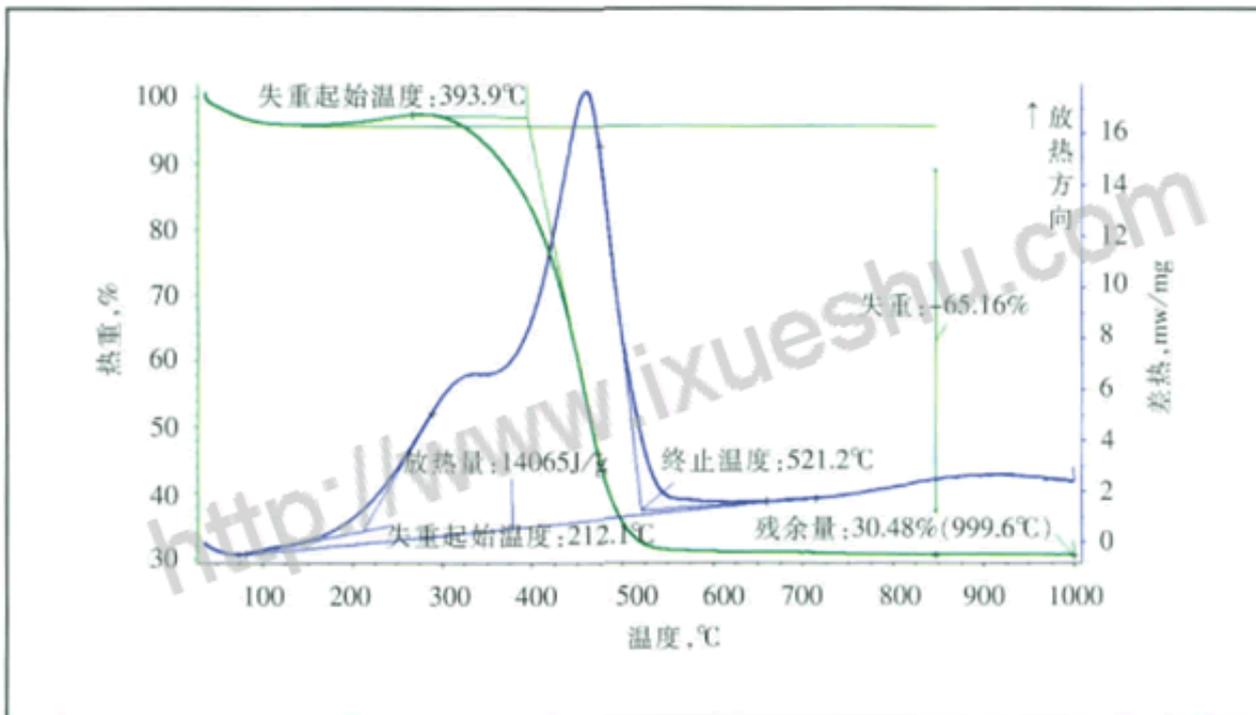


图2 烟煤 A 在空气中加热 1000°C 的热分析曲线

从图1的失重曲线可以看出，秸秆共有三段明显的失重曲线，第一段为在空气中失水，失重率为4.21%，这和空气干燥基测得的水分相似；第二段为一种有机物在燃烧，这部分有机物占了绝大部分，失重率为68.79%；第三段为固定碳在燃烧，这部分占16.27%，可见秸秆与煤相比为低碳燃料。秸秆燃烧后留下的灰分大约为10%，这部分灰分主

要成分为碳酸钾，是植物根系从土壤中吸收的矿物质。

从图1的热分析曲线还可以看出，秸秆共有两段明显的放热：第一阶段从255 放热开始至307 结束，第二阶段从403 开始至443 结束，两段放热量总计为7886J/g，这说明秸秆开始放热的温度不是很高，比较容易点燃，这也是由于秸秆的有机物含量较高的原因。而它的发热量同比一般烟煤的发热量少，第一段放热占总放热量的绝大部分，并且此段燃烧起来要猛烈、迅速。为了与煤的热分析进行详细对比，图2是某烟煤A的热分析曲线图，表3是秸秆与烟煤A的热分析参数对比。

| 试样 | 总失重, % | 放热起始温度, °C | 放热结束温度, °C | 放热量, J/g | 折合低位热值, kJ/kg |
|------|--------|------------|------------|----------|---------------|
| 秸秆 | 83.73 | 255 | 443 | 7886 | 15081 |
| 烟煤 A | 69.52 | 212 | 521 | 14065 | 22739 |

从图2与表3中可以看出：秸秆的总失重为83.73%，比烟煤A的失重量69.52%要多，这说明秸秆的燃尽度比烟煤A的高，这是因为秸秆的主要成分为纤维素、半纤维素、木质素等，比较容易燃尽；烟煤A的放热主要由挥发分与固定碳两部分组成，而秸秆的放热也是由两部分组成。它们的放热起始温度差不多，而放热结束温度秸秆要比烟煤A提前78，这说明秸秆的活性和烟煤A差不多；从放热量来看，秸秆的放热量要少于烟煤A的不到一半，这里所说的放热量指热分析仪器直接测定的放热量，由于试验过程中坩埚是开口的，边燃烧边放热至出口，所以要想求得相应的低位热值必须用经验公式求得。折合后的秸秆的低位热值为15081kJ/kg，同比煤的低位热值为一半之多。

所以，从秸秆的燃尽度、放热起始温度与终止温度以及放热量来看，秸秆在水泥窑中是一种较好的可替代燃料。

2.2 秸秆的红外试验

为了探讨秸秆燃烧时排放的气体种类，在对秸秆做热分析试验的同时对其气体排放特性也做了热红联用试验，也就是利用德国布鲁克生产的傅立叶红外光谱仪器对其排放的气体进行了检测分析，以下是其热红联用实验条件：

气氛：空气（O₂：7ml/min，吹扫N₂：20ml/min，保护N₂：10ml/min）。

样品：秸秆；质量：20mg左右。

温度：室温~700；升温速率：5K/min。

红外波谱范围：600~4000cm⁻¹；扫描次数：10；分辨率：8。

热分析仪器：德国Netzsch STA409PC；红外仪器：德国BRUKER TENSOR27。

热红联用实验意指热分析仪器与红外仪器相连接，在做热分析试验的同时对秸秆燃烧时排放的气体进行在线监测，图3是其燃烧时各个阶段的气体排放结果。

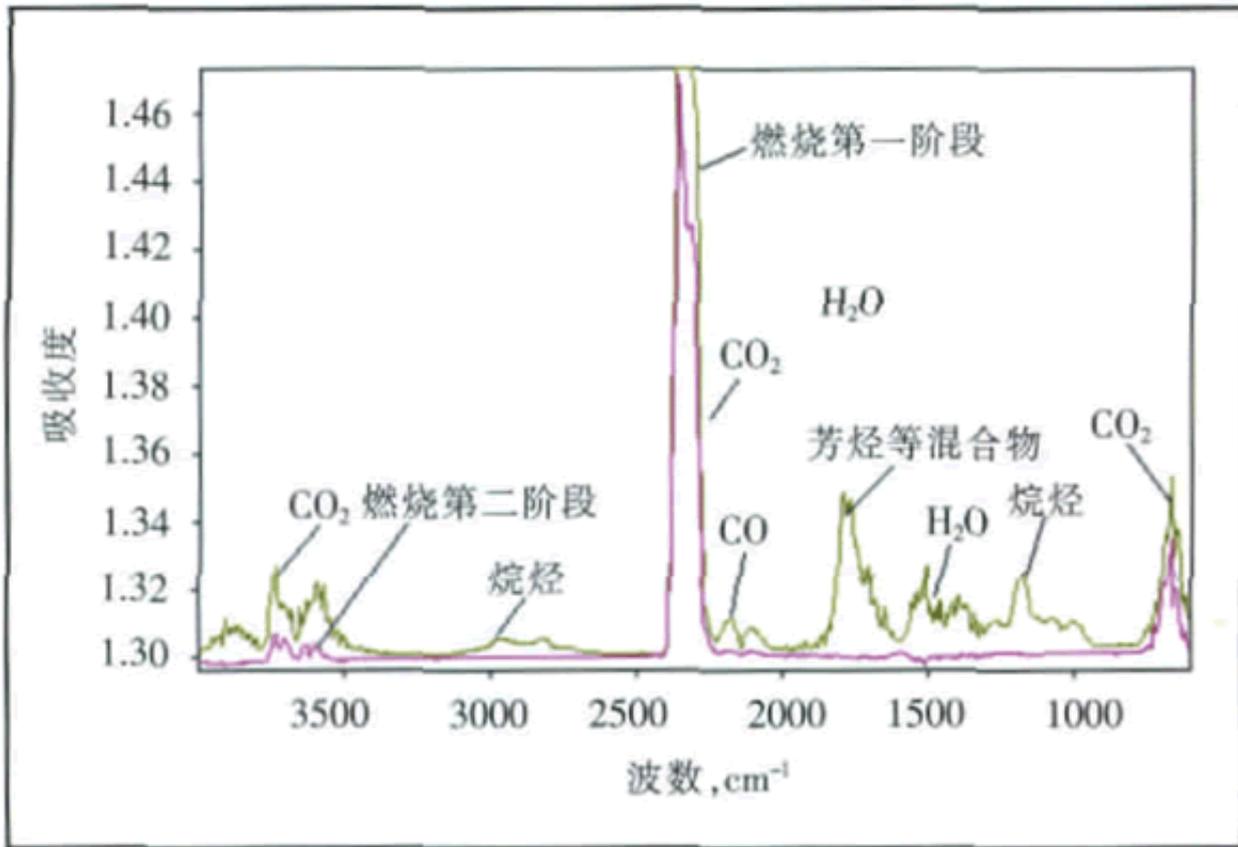


图3 秸秆在空气中燃烧第一、二阶段的气体红外光谱

用红外光谱图识别气体成分的原理为：每种气体都有一特定的特征吸收峰，不同气体对应的特征吸收峰不同，波数也不同。从特征吸收峰的形状以及所在的波数位置就可以判定不同的气体。图3的横坐标为波数 (cm^{-1})

2、 H_2O 、烷烃、烯烃等的混合物，其中 1790cm^{-1} 波数的气体成分不确定，有可能是芳烃泛频峰、 $\text{C}=\text{O}$ 双键强振动峰等。而第二阶段燃烧时，即从 403 至 443 ，由于温度达到一定程度基本上只有 CO_2 和极少量的 CO 放出。这是因为秸秆基本上是由碳、氢、氧、氮、硫等元素组成，其中含有一定量的水分，秸秆为低碳燃料，且硫含量一般为 $0.12\% \sim 0.18\%$ 。在低温燃烧时由于没有燃烧完全会有 CO 、烷烃、烯烃等气体放出，从光谱图看出硫化物放出很少，这和秸秆中的硫含量低有关系；而当温度升高到一定程度即 443 以上时，就只有 CO_2 和极少量的 CO 放出。这说明如果秸秆在水泥窑里燃烧，窑里的高温足以使秸秆燃烧完全，秸秆放出的气体对环境污染很小。

3结论

通过对天津郊区秸秆的热分析及红外试验，可以得到以下结论：

- (1) 秸秆在燃烧过程中共有两段明显的放热：第一阶段从 255 放热开始至 307 结束，第二阶段从 403 开始至 443

结束，第一阶段的放热占总放热量的绝大部分；

(2) 秸秆的燃尽度较高，放热起始温度与终止温度与烟煤类似，放热量较一般烟煤有一半之多，在水泥窑中是一种较好的可替代燃料；(3) 秸秆在高温燃烧时只有CO₂和极少量的CO放出，水泥窑里的高温可以使秸秆燃烧完全，燃烧时释放出的气体对环境污染较小。

参考文献：

[1]周勇，等.清洁生物质秸秆能源研究进展[J].应用化工，2005，34(10)，595 - 597.

[2]宋春财，等.生物质秸秆热重分析及几种动力学模型结果比较[J].燃料化学学报，2003，Vol.31 No.4，311 - 1315.

[3]闵凡飞，等.生物质燃烧模式及燃烧特性的研究[J].煤炭学报，2005，Vol.30(1)，104 - 105.

[4]Miura K.A new and simple method to estimate $f(E)$ and $k_0(E)$ in the distributed activation energy model from three sets of experimental data[J].Energy & Fuels，1995，9(2)：302 - 307.

[5]Van der Lants R P，Pedersen L T，Jensen A，et al.Modelling and Experiments of Straw Combustion in a grate Furnace[J].Biomass & Bioenergy，2000，19：199 - 208.

[6]Werther J，Saenger M，Hartge E U，et al.Combustion of agricultural residues[J].Progress in Energy and Combustion science，2000，26：1 - 27.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/114091.html>