

生物质能源技术研究：以粪便污泥热解为例

宋先金

张家界金盟新能源科技有限公司 湖南张家界 427100

摘要：人类社会的发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用。本文就新能源中生物质能源概论，特点，分类和利用现状以及对其发展面临的困难及对其前景展望。从生物质能源的概念入手，综述和探讨了粪便污泥热解技术的特点和基本原理，对其工艺流程进行了概括性描述。研究指出，粪便污泥热解技术以其无二噁英产生、重金属固化、高效及低能耗的特点，成为处理粪便污泥实现减量化、稳定化、无害化和资源化的优选方案。该技术在减少污染、扩大绿化面积以及节能方面表现突出，是一种高效的环保选择。

关键词：粪便污泥；热解；二噁英

前言

近年来，作为一种替代焚烧的新兴技术，热解因其在不同化工工艺中的应用如干馏、焦化、气化和热分解等而备受瞩目。实际上，热解技术代表了一种创新的方法，在处理废弃物方面显示出了独特的价值。

1 热解技术的显著特点

- (1) 绿色无污染，有效解决便污泥中的重金属问题。
- (2) 能源利用率高，减容效果好，运行费用低。
- (3) 不产生二噁英和呋喃，不会因为环境问题扰民。
- (4) 杜绝废气排放，防止二次污染。
- (5) 通过回收可再生能源，实现了减排目标。
- (6) 对环境友好，具有显著的环保意义。

2 热解技术基本原理

粪便污泥中的有机物在无氧环境下通过热解处理，能够实现有效转化。此过程涉及加热并裂解有机物质，依据其碳氢比例生成有价值的气相和固相产物。这些产物便于储存、运输及使用，为粪便污泥的减量化、稳定化、无害化及资源化提供了一种可行的方法。

热解温度、压力、升温速率、气固相停留时间及物料尺寸等因素显著影响热解过程及其产物的产率和组成，尤其是热解温度，它起着最关键的作用。

3 粪便污泥热解工艺描述

粪便污泥的热解工艺由多个系统组成，涵盖储存与输送、干燥、热解、燃烧、能量回收以及尾气净化。首先，储存和输送系统负责暂存并转移粪便污泥至干燥设备。由于脱

水后的粪便污泥含水量大约 80%，不适合直接进行热解处理，干燥过程可将水分含量减少到 20%–25%。随后，在无氧条件下，通过热解系统对固态粪便污泥进行裂解，从而产生气体与固体产物。

热解过程产生的气态产物——热解气，是一种可燃性气体，含有害物质。通过燃烧或采用处理烟气的技术，可以去除这些有害成分，从而获得清洁的热解气，适用于发动机或燃气轮机的使用。

热解粪便污泥后产生的固态残渣结构亲水，易堵排出路径，需采取防堵措施。此残渣化学性质稳定，耐强酸，能有效固定重金属，防止其再次释放。

热解气通过旋风除尘器处理后，与粪便污泥储存仓的废气一起在燃烧室内燃烧，有效避免异味泄漏。燃烧产生的烟气首先用于加热热解鼓，热解鼓排出的 600℃ 烟气随后进入余热锅炉进行能量回收。当系统能量不足以维持平衡时，需向燃烧室添加额外燃料以保持能量稳定。这样既利用了废气，又确保了系统的能量自给。

4 粪便污泥热解是当之无愧的节能环保技术

污泥热解技术是一种极具环保优势的处理方式，具备多重优点。该技术在还原性气氛下进行，有效避免了二噁英的生成，同时还能实现重金属的稳定化、高效能量回收和低能耗运行。由于反应环境为无氧或低氧状态，抑制了有害物质的合成，因此相较于传统焚烧方法更具安全性。

在处理过程中，污泥中的重金属元素大部分会富集于热解后的固体残渣中，其形态也由易迁移的可交换态向更稳

定的残渣态转化,从而显著降低其环境风险。检测结果显示,这些重金属的浸出浓度均低于相关标准限值,表明其固化效果良好。此外,所产生的残渣具有惰性、干燥且多孔的特性,并富含磷、钾等营养元素,具备资源化利用的潜力。

从能量利用角度来看,热解工艺相较焚烧更为高效。由于仅有一部分碳元素保留在残渣中,而焚烧则因大量尾气排放造成热量损失,因此热解过程的能量损耗明显更低。同时,由于热解气体在净化后不含催化性成分,其燃烧过程更为清洁彻底,进一步提升了整体能效。此外,废气产生量少,也意味着系统能量散失更小,综合来看,该技术在能源利用效率方面具有显著优势。

5 新型研发技术

某能源公司已成功研发出能够将人类排泄物粪便、污物、污泥、家畜家禽粪便提炼转化为生物燃油。利用水液化的原理在高温高压下进行将排泄物转化类似石油一样的资源。

经研究分析,将来可持续污水、粪便、污泥系统使用技术能够达到零净能量、零气味和零残渣。这更将大大增加资源的有效利用率。在长久以来污水混合物所生成的生物燃料成分太湿,使用这一方法成功解决了早前产生的运输和填埋的问题。

这项技术也将应用于除了人类排泄物、污物、污水、污泥以外的其他领域,农业废弃物资源利用,在解决废物垃圾回收的同时产生资源,还能保护环境。

最新水热液化技术可将含水有机废弃物转化为生物原油,通过高温高压环境加速有机物分解过程。该技术能将污水污泥、农业废料等原料中的复杂分子裂解为碳氢化合物,在传统炼油工艺中可直接应用。其核心优势在于同步实现废弃物无害化处理与能源回收,未来有望构建零污染、零能耗、零残留的循环处理系统。

研究显示,每人每年可产 2-3 加仑(7.57-11.36 升)生物质原油。这需要通过高压处理排泄物,每平方英寸需施加 3000 磅压力,并在约 660° F 的高温下进行转化。这种处理方式能使废弃物分解为液态的生物质原油。

这种生物质燃油是该过程中的主要产物,而其他液态物质则能通过催化转化为额外的燃料和化工产品。此外,处理过程中也会生成含有磷等重要肥料成分的固体残留物,这些可以用来代替化肥生产中所需的磷矿。整体而言,这类新能源技术不仅有助于资源回收,还能够降低政府在处理、运

输及填埋污水残留物方面的开支。

这种可以将排泄物转化为生物燃油的技术被成为“水热液化”技术。这种技术采用的原理和地球产生原油的原理条件类似,在高压高温环境下,这些排泄物等混合物体在水和氧气的作用下能够精炼出生物燃油,只不过和地球产生这些燃料的过程相比,时间缩短到了数分钟之内。城市污水中的污泥含有人类粪便,含有大量的碳元素、氨基酸,这些物质通过反应器的过程中,能够产生非常高质量的生物原油,再经过一定的提炼步骤,便能够转化出汽油、柴油和飞机燃料等。

6 粪便污泥热解技术

热解油源自粪便污泥的热解过程,由有机物质受热分解后的蒸汽冷凝而成,包含水和有机物。其成分比例受热解条件影响显著,其中水的比例占热解油总质量的 2%-10%,且 pH 值约为 8,这是由于分解产物中含有的低分子量氮有机物呈弱碱性所致。此外,水相中含有大约 2% 的可溶性低分子有机物,如醇类、脂肪酸等。总体而言,热解油是一种复杂的有机混合物,因不同有机组分的存在而可能产生分层现象。

生物油,也被称为热解油,是一种由多种高分子量有机化合物组成的复杂混合物,其含氧量较高。这种物质涵盖了数百种不同的化学成分,几乎包含了所有类型的含氧有机物,如醚、酯、醛、酮、酚、有机酸和醇等。尽管不同来源的生物质所产生的生物油在具体成分比例上可能有所差异,但总体来看,它们的主要成分相对含量大致相近。尤其值得注意的是,在各类生物油中,苯酚类、萘类、蒽类以及一些有机酸的含量通常较高。

热解油(bio-oil)性质:热解油通常是黑色到红棕色,取决于其化学组成和碳微粒的存在。密度约为 1200kg/m³,高于燃料油,也大大高于原生物质。粘

度为 25cP 到 1000cP,取决于水的含量。由于大量的含氧化合物的存在,它是有极性的,不能与联氢燃料相混。氮含量比石油少,不含金属和硫化物。生物质降解的产物含有有机酸(如甲酸和乙酸),PH 约为 2-4。储存容器要用防酸材料如不锈钢和聚烯烃材料。热解油通常含水 12%-35%,并且不能用常规的方法(例如蒸)除去。当水含量高到 30%-45% 时,才会分相,在燃烧时,水的高含量有益的影响,例如可降低粘度,改善稳定性,降低燃烧温度和减

少 NO₂ 释放。

生物油作为一种液体燃料，具备替代传统燃料的能力，适用于锅炉、内燃机及涡轮机等设备。其在含水率达 25% 时的热值约为 17MJ/kg，仅相当于汽油和柴油等烃类燃料热值的 40% 左右。值得注意的是，生物油与烃类燃料不相容，不能混合使用。此外，它的稳定性不及化石燃料，在实际应用前需要对其性能进行检测以确保适用性。

(1) 含水率

在生物油中，水分的比例可以高达 30%–45%，这些水分主要源自于原料表面附着的水以及热裂解过程中发生的脱水反应。虽然油中的水分有助于降低其黏度并增强稳定性，但却会减少其热值。

(2) pH 值

生物油由于含有诸如蚁酸和醋酸等有机酸，导致其 pH 值较低。为了有效贮存这种酸性生物油，推荐使用能够抵抗酸性腐蚀的材料制作储存容器，如不锈钢或聚烯烃类物质。值得注意的是，虽然中性条件可以促进多酚成分的聚合反应，但生物油的酸性环境实际上有助于维持其稳定性。

(3) 密度

生物油的密度比水的密度大，大约为 1.2x10kg/m。

(4) 高位热值

具有 25% 含水率的生物油其热值为 17MJ/kg，这等于同样重量下汽油或柴油热值的 40%。换言之，需要 2.5 千克这种生物油才能与 1 千克化石燃料（如汽油或柴油）产生的热量相当。

(5) 黏度

生物油的黏度在室温下可从 10cP 变化到高达 10000cP，尤其在不良存储条件下长期存放后。这一范围受到水分、热裂解反应条件、原料状态及储存环境的影响显著。

(6) 固体杂质

为了确保快速加热，热裂解液化过程中使用的物料通常被破碎得很细小，这导致生成的生物质炭颗粒也非常细微。鉴于旋风分离器无法捕捉所有的微小炭粒，因此需要寻找更有效的分离方法。一种策略是对热蒸汽产物或液体产物进行过滤，以此来去除其中夹带的固体杂质，从而提高固体杂质的分离效率。

(7) 稳定性

生物油在保存时应避免光线直射和与空气接触，由于

其内多酚成分会经历慢速的聚合及缩合反应，导致“老化”现象。特别是在氧气和紫外光线存在的情况下，环境温度的上升会使生物油的黏度增加。因此，加热生物油时不应超过 80° C 以防止性质变化。

(8) 生物油品质

当前尚未制定出专门针对生物油品质的明确评估标准。鉴于常规燃料已具备其特定的质量评判准则，因此，为满足各类用途的需求，迫切需要确立一套国家层面的检测标准，用以评定生物油的品质。

应用：

热解油在短期内适用于烧锅炉和热电联产，以替代化石燃料用于产生热能与电力。长远来看，它也有潜力应用于涡轮机和柴油发动机中。虽然将热解油转化为交通用油在技术上是可行的，但此过程仍需进一步的研发来完善。此外，通过处理和转化热解油，可以生产出一系列广泛的化学产品。

(1) 加热

热解油中含有较多水分，因此其热值通常低于传统化石燃料。然而，通过火焰燃烧实验发现，快速热解油可以用于工业锅炉中，替代重油或轻油。尽管在点火性能、粘度、热值、稳定性和 pH 值方面存在差异，但它的燃烧特性更接近于轻质油。实验过程中观察到的一些问题与热解油的特殊性质相关，但这些挑战在实际使用中是可以克服的。最直接的应用方式是将热解油作为锅炉燃料，此外，它还有潜力被用作柴油机的替代燃料。

(2) 发电

热解油可以直接用于发电。过去的几年里，热解油在不同的柴油发动机以及改进的双油料发动机上的试验运行已达几百小时。发动机的运行及测试结果是令人鼓舞的。然而，热解油替代柴油的一些问题还有待解决，尤其是其酸性 (PH=33)，油烟形成和再聚合的问题。

(3) 合成气

只有生物质才能生产出“绿色”的碳氢化合物。以固体生物质为原料生产合成气和以热解油为原料生产合成气的对比表明以热解油气化大规模生产更受鼓舞。以纯氧气化热解油产生合成气，再经过 FT 合成生产碳氢化合物在技术和经济上是可行的。

(4) 化学物质

生物油用于提取化学品：可制取特殊化学品，可制取

多酚、化肥、农药和具有环保要求的化学品，生产高价值的化学品可以提高生物油利用的经济效益。

7 结论

粪便污泥的热解技术作为一种具备广泛应用前景的处理手段，已经进入成熟应用阶段。该方法能够在封闭系统中运行，产出具有回收利用价值的气体和固体物质，并有效避免污染性气体排放。在此过程中，绝大多数重金属被稳定地保留在固体残余物中，从而显著降低了对环境的负面影响。此外，与焚烧相比，热解技术的运行成本更低，因此在固体废弃物处理领域展现出广阔的前景和重要的发展潜力。

参考文献：

- [1] 冯玉杰. 现代生物技术在环境工程中的应用[M], 北京: 化学工业出版社 .2004.3.
- [2] 吴创之, 马隆龙. 生物质能现代化利用技术[M], 北京: 化学工业出版社 .2003.5.
- [3] 姚向君, 田宜水, 生物质能资源清洁转化利用技术[M], 北京: 化学工业出版社 ,2004.11.
- [4] 孙水明, 袁振宏, 孙振钧, 中国生物能源与生物质利用现状与展望 [J]. 可再生能源 ,2006,(2):79-83.
- [5] 国家发展和改革委员会能源局. 生物燃料发展有关情况 & 政策建议 [EB/OL].