

生物质气化技术面临的挑战及技术选择

田原宇^{1,2}, 乔英云²

(1.中国石油大学(华东)重质油国家重点实验室, 山东青岛266580; 2.山东省高校低碳能源化工重点实验室(山东科技大学), 山东青岛266590)

摘要:生物质气化可实现低品位生物质能的深层次利用, 不同地区、不同行业有不同的能源需求和产业结构, 应合理选择生物质气化技术。固定床气化技术针对的是中小规模应用, 该技术存在的问题包括焦油含量高、规模小、机械化和自动化程度较低、发电效率低等。流化床气化技术针对的是中等及以上规模应用, 目前需要解决的问题是热效率低, 发电效率低, 需要开发高气化效率和无焦油的燃气型气化炉、低热值燃气轮机、高效燃气净化系统, 以便采用BIGCC技术。沼气技术是一项生物质综合高效清洁利用的多联产工艺, 目前急需开发高效高浓度厌氧消化的沼气发酵工艺和配套的集成设备, 培育和筛选高效沼气发酵微生物菌群, 简化沼气净化工序, 解决沼液、沼渣的利用难题等。生物质快速热解技术是一种高温处理过程, 其最大的优点是产物生物油易于储存运输, 不存在产品规模和消费的地域限制问题。从工艺特点、经济效益和规模化生产来看, 沼气技术更适合处理高含水的养殖业粪便, 快速热解技术更适合农作物秸秆的规模化转化, 燃气型气化技术更适合社区生活垃圾和农林产品加工废弃物的处理。

1 前言

生物质分布广泛、数量巨大, 是重要的可再生能源, 在世界能源安全和碳减排中都将起到至关重要的作用。相对于其他含碳能源, 生物质存在能量密度低、分布分散度高、收集运输困难以及难以大规模集中处理等不足。由于完全照搬石油炼制、煤化工和天然气利用的技术思路进行生物质能的利用和转化, 造成现有大多数装置效率低、效益低, 并存在二次污染, 相关企业规模小、效益差, 甚至必须依靠政策补贴才能生存。如何高效合理利用和转化生物质能, 使其可与其他能源相竞争, 成为国内外生物质能研究者和生产者面临的挑战。

气化技术是生物质能高效利用的主要方式之一, 但由于难以像煤、石油和天然气化工那样容易实现规模化, 所以气化气只能用作能源, 不宜作为C₁化工的合成原料。气化使低能量密度的生物质从固态转化为可燃气体, 相对直接燃烧具有燃烧稳定、热效率高、污染低等优点, 尤其是PM_{2.5}指数低。按照气化转化率可分为部分气化和完全气化, 部分气化包括沼气发酵技术、热化学热解技术、高压液化(直接液化)技术; 完全气化包括热化学气化技术, 即通常所说的生物质气化。以气化方式实现低品位生物质能的深层次利用, 减少矿物燃料消耗量, 对提高农村生活水平、改善生态环境、保障国家能源安全等具有重要意义。

2 生物质完全气化技术面临的挑战

生物质热化学气化技术是以生物质为原料, 以氧气(空气、富氧性气体或纯氧等)、水蒸气或氢气等为气化剂, 在高温条件下通过热化学反应将生物质转化为可燃气体的过程。目前根据气化炉的不同, 主要有固定床气化技术和流化床气化技术。气化技术可将低品位的固体生物质完全转化为高品位的可燃气体, 从而广泛应用于工农业生产的各个领域, 如目前的集中供气、供热和发电, 以及研究中的费托合成甲醇和乙醇等第二代生物燃料。

2.1 固定床气化技术

固定床气化是目前世界上应用最广、成熟度最高的生物质利用技术。作为固定床气化的核心——气化炉, 其优点是装置结构简单、坚固耐用、运行方便可靠、操作和投资费用低; 缺点是内部过程难以控制, 易产生焦油和架桥, 生产强度小。

固定床气化炉的结构主要有上吸式、下吸式和横吸式等。上吸式固定床气化炉主要有中科院广州能源所的GSQ型气化炉、中国农业机械化科学研究院的ND型气化炉、江苏省粮食局的稻壳气化炉等, 另外华中科技大学、大连科技大学、印度马杜赖卡马拉大学、奥地利维也纳工业大学也对此进行了研究和实践。下吸式固定床气化炉主要是山东能源研究所的XFL系列秸秆气化炉, 华南理工大学、马来西亚科技大学、印度贝拉理工和科学学院也对下吸式固定床气化炉进行了研究和实践。

目前固定床气化技术针对的是中小规模应用, 急需解决的问题包括:

焦油含量高。上吸式固定床所产燃气中含有大量的焦油，对燃气净化系统造成巨大负担，去除不净将造成管路、阀门堵塞，内燃机需频繁维护；另外，燃气冷凝产生的废水含有大量难处理的酚类物质，会造成二次污染。

规模小。目前固定床单台产能一般都集中在200~500kW，不易放大规模，规模效益不佳。

机械化、自动化程度较低。如某些固定床气化炉容易架桥烧结，运行时需要耗费大量人力在炉顶操作，威胁到操作人员安全。

发电效率低。气化发电所用的内燃机一般都由低转速的柴油发电机改装而成，电转化效率只有30%，固定床气化发电效率为10%~15%。

尽管国内外大量研究者对如何处理生成的焦油进行了不少研究，但由于固定床气化技术焦油处理难度大、成本高，且难以根治，加之不适应规模化发展的要求而不具有竞争力。

2.2流化床气化技术

流化床气化炉的优点是传热传质均匀，气化反应速度快，碳转化率高，易放大设计；缺点是可燃气中灰分含量高，设备结构复杂，原料需粉碎细化。

流化床气化技术分为鼓泡流化床型、循环流化床型和双床型等。鼓泡流化床气化技术主要有华北电力大学、河南科学院和浙江大学等进行了研究和中试。德国、瑞典、芬兰、澳大利亚、美国、加拿大等国已将循环流化床气化技术工业化应用，另外上海发电设备成套设计研究院、中科院广州能源所、中国科技大学、中国石油大学、山东科技大学、哈尔滨工业大学、华南理工大学、伊朗科技大学、美国西弗吉尼亚大学、埃及米尼亚大学、意大利拉奎拉大学等也对该技术进行了研究和中试。笔者在循环流化床气化的基础上，将流化床半焦气化和生物质提升管临氢热解耦合，开发了生物质循环流化床分级热解气化技术，裂解焦油，富产甲烷，提高了燃气热值，从源头上消除了含酚废水的污染。

流化床气化技术针对的是中等及以上规模应用，急需解决的问题包括：

气中仍存在焦油，使气化发电及供气系统无法长期稳定运行，还会引起二次废水污染。

高温粗燃气和发电机尾气的余热未加以利用，热效率低，发电效率低，流化床气化发电效率只有15%~25%，而气化-燃气轮机联合循环发电技术(BIGCC)的发电效率也只能达到35%。

需要开发高气化效率和无焦油的燃气型气化炉，提高燃气热值，便于采用BIGCC热电联供。

采用BIGCC技术需要开发结构简单、运行成本低的热值燃气轮机和高效燃气净化系统。

BIGCC技术需要规模化开发应用，解决气化气成本问题。

生物质循环流化床气化，未完全反应的碳粒可通过返料器返回气化炉进一步反应，以提高气化效率，提高燃气热值，燃气热值可达到5~8MJ/m³

(标准状态)。有床料的循环流化床原料适应性强，可将较长的秸秆打碎(一般5cm以下的秸秆都可以充分反应)，床料可使加入的生物质料迅速升温，减少气化反应时间，生成更多可燃成分。热燃气直接利用，可以避免焦油冷凝对管道设备的污染，这将是下一步生物质规模化完全气化技术的主要发展方向。

3生物质部分气化技术面临的挑战

生物质部分气化是生物质隔绝空气，在生物酶或高温高压条件下，通过生化反应或热化学反应将部分生物质转化为燃气，部分转化为燃油-半焦或沼液-沼渣的过程，是生物质能高效梯级利用的多联产工艺。基于综合效益和发展趋势，本文以沼气技术和快速热解液化技术为例进行分析。

3.1沼气技术

人畜粪便、秸秆、污水等各种有机物在密闭的沼气池内，在厌氧(没有氧气)条件下发酵，经微生物分解转化产生沼气。沼气是一种混合气体，由50%~80%的甲烷、20%~40%的二氧化碳、0~5%的氮气、小于1%的氢气、小于0.4%的

氧气和0.1%~3%的硫化氢等气体组成，除直接燃烧用于炊事、烘干农副产品、供暖、照明和气焊等以外，还可用作内燃机的燃料，沼气发电还可作为分布广泛且价廉的分布式能源。经沼气装置发酵后排出的料液和沉渣，含有较丰富的营养物质，可用作肥料和饲料。另外，由于腐熟程度高使肥效更高，粪便等沼气原料经发酵后，绝大部分寄生虫卵被杀死，可以改善农村卫生条件，减少疾病的传染。因此，沼气技术是适合三农的一项生物质综合高效清洁利用的多联产工艺。目前急需解决的问题包括：

急需开发高效高浓度厌氧消化的沼气发酵工艺和配套的高效集成式设备，既要保持厌氧污泥菌群有足够长的停留时间(污泥龄)，又要保证进入池内的污水与厌氧污泥有充分的亲密接触，还要保证池体介质温度在20℃以上且不用耗能加温，而且不能发生固体物堵塞问题，使单位设备容积产气量(即产气率)在中温下提高到10m³沼气/(m³·d)以上，滞留时间缩短到几天甚至几小时。

培育和筛选发酵性细菌、产氢产乙酸菌、耗氢产乙酸菌、食氢产甲烷菌、食乙酸产甲烷菌等各种微生物协同作用的高效沼气发酵微生物菌群，提高生物质的利用率和沼气产量。

提高机械化、自动化程度，降低发酵操作能耗，简化操作工序。

简化净化工序，提高甲烷纯度和清洁度。

开发适合沼气特点的甲烷压缩、发电和热电冷多联供的小型高效设备，扩大沼气的利用途径，提高附加值。

需要解决大中型沼气工程的沼液和沼渣利用难题。

大中型沼气工程效率高，产气量大，规模集中便于管理、净化和高效利用，符合农村集约化和城镇化发展的需求，是今后沼气技术发展的方向。

3.2 生物质快速热解技术

生物质快速热解是一种高温处理过程，生物质在隔绝空气条件下快速加热，通过热化学方法将原料直接裂解为粗油，反应速度快、处理量大。生物油为主要产品，干基产率在70%左右，副产物为半焦、灰渣和气体，整个系统无废气排出，处理过程几乎无污染。气体热值高达5000kcal/m³ (1kcal=4.186kJ)，除直接燃烧用于炊事，还可用作发电和热电冷多联供等；半焦可用作固体燃料、土壤改良剂、肥料缓释增效的载体以及高性能活性炭的原料等；灰渣富含钾、硅、镁、铁等作物所需元素，可用于肥料。生物质快速热解液化的最大优点，在于其产物生物油易于储存、运输，为工农业大宗消耗品，不存在产品规模和消费的地域限制问题。生物油不但可以简单替代传统燃料，还可以从中提取许多附加值较高的化学品。通过分散热解、集中发电的方式，热解生物油可通过内燃机、燃气涡轮机、蒸汽涡轮机完成发电，这些系统可产生热和能，能够达到更高的系统效率，一般为35%~45%，并大大降低了农林废弃物的运输和储存成本以及场地费用等。

利用固体热载体循环快速热解被认为是解决上述问题最有可能工业化的工艺，但普通循环流化床热解需要流化气，流化磨损产生大量细粉而导致需要油中脱灰，能耗过高。与普通流化床相比，下行流化床具有顺重力场并流下行运动，固固或气固接触时间短，反应快，径向分布均匀，返混小，并能灵活地调节固固或气固比等显著优点，适合生物质快速裂解。但也存在急需解决的问题：

热解装置的固固或气固快速混合、快速分离与急冷、油中脱灰、降低油中水含量、消除钾影响、保证长周期运行等难题；

工业化和规模化问题；

生物油精制改性，提高稳定性和热值，生产车用替代燃料，拓宽生物油利用途径；

开发木醋液、半焦和灰渣的综合利用技术，提高附加值。

笔者通过热解工艺和设备一体化开发了生物质自混合下行式循环流化床快速热解技术。与代表国际先进水平的荷兰Twente大学和UOP公司的生物质热解工业化技术相比，解决了国内外生物质热解存在的反应器机械运动部件高温磨损、流化气稀释耗能、系统热效率和液收率低、油中带灰、产品含水高、生物油加热自聚以及工业放大和长周期运行等难题。2009年已经完成第二套最佳农作物秸秆处理2×104t/a的工业示范，实现了装置定型和标准化。2012年在山东广

饶建成目前世界上规模最大的首座 20×10^4 t/a生物质自混合下行循环流化床快速热解装置，并投产成功。

4 生物质气化技术的选择

由于发达国家农林业及企业规模较大，生物质燃料相对比较集中，多采用大型气化设备，设备自动化程度高，因此生物质气化及发电技术在发达国家已受到广泛重视，生物质能占能源消费结构的比重迅速增加。另外，还有研究机构开展了生物质气化合成甲醇、氨的研究工作，但由于生物质密度低、集散困难，难以规模化气化，其产品的经济性还无法与石油、煤化工相竞争。

目前我国农林业及林产品加工企业以中小型和分散经营为主，虽统计生物质绝对量较大，但难以集中利用。我国农村地区目前仍以生物质能为主要能源，能源转换技术落后，效率低下，且污染环境，农民生活质量难以提高，迫切需要改善燃料结构，提高能源利用效率。另外，农林产品加工企业有大量集中的生物质废弃物，自身又需要大量的热电冷，急需合理高效清洁的生物质利用和转化技术满足自身的能源需求，使资源最大化利用，消除污染。不同地区、不同行业具有不同的能源需求和产业结构，应合理选择生物质气化技术，最优化利用不同类型的生物质能，降低成本，实现效益最大化。

4.1 农村能源

近年来由于农业效益低，农村青年务农人数下降，耕作农民平均年龄接近50岁，农村土地流转、集约化高效经营在未来20年内不可避免，农业秸秆集中度将提高，急需生物质全株化利用提高农业效益。农村城镇化建设也是大势所趋，规模化、高效清洁化的农村能源成为下一步发展方向。

农作物秸秆来源方便、成本低，适于作为农村能源。但随着农村城镇化建设的有序展开，利用气化解解决农村能源需求只需要少部分秸秆，大量剩余的秸秆需要就地转化。以沼气技术和快速热解技术为代表的生物质部分气化技术能够将农村能源建设、生态建设、环境建设、农民增收、农民就地化就业、社区化分布式能源利用等链接起来，实现生物质梯级综合利用，因而将有很好的发展前景。

作为农村三大类生物质，养殖业粪便含水高，适于发酵产甲烷的组分多；而热解前需要干燥，能耗过高。农作物秸秆含水量相对较低，适于发酵产甲烷的组分少，甚至部分秸秆(如棉花秸秆)无法用作沼气原料；但热解制油产率高，能耗低，适于规模化。社区生活垃圾由于成分复杂、有害组分多，不宜梯级利用；而气化产物组分单一，无二次污染。因此，从工艺特点、经济效益和规模化生产来看，沼气技术更适合处理高含水的养殖业粪便，快速热解技术更适合于农作物秸秆的规模化转化，燃气型气化技术更适合于社区生活垃圾处理。

养殖业设施大多建在农田附近，以养殖业粪便沼气发酵综合利用技术为纽带，可促进养殖业适度规模化发展，解决了城镇化后农民增收和就地化就业难题。沼气用作农村清洁能源，用于农户生活用能和农副产品生产加工，解决了城镇化后农村社区的分布式能源供应，有利于推广高效节能的热电冷多联供。产生的沼液、沼渣基本可以满足当地农业生产的需要，沼液用作饲料、生物农药、培养料液和叶面肥及冲施肥等的生产，沼渣就地用作有机底肥，解决了大中型沼气工程存在的沼液和沼渣利用难题，改良了土壤，增加了耕地肥力和保肥保水性，并使集约化经营后的粮食品质和产量都能得到保证。以沼气为纽带，对沼气、沼液、沼渣多层次利用的生态农业模式，使农村能源建设、农业生态建设、农村环境建设、农民增收和就业链接起来，是解决集约化养殖场污染治理难题、改善农村环境卫生的有效措施，是发展绿色种植业、养殖业的有效途径，将成为农村经济新的增长点。

城镇化后大量农作物秸秆富余，并且易于收集和分散储存，解决了生物质快速热解技术规模化的原料集散难题。农作物秸秆快速热解制油规模大、效益高、相关就业人数多，加以培训就能解决中青年农民的就地化就业，可实现集约化种植和农村能源生产互补发展。热解气体热值高、有害成分少，除了用于社区能源供应以外，还可用于农副产品生产加工、发电和热电冷多联供等。热解半焦的热值相当于标准煤，不含硫，可作为优质固体燃料或成型烧烤燃料销售，还可作为土壤改良剂、肥料缓释增效的载体用于农业生产，以提高土壤透气性。另外，半焦粉碎成型生产高性能活性炭也是解决规模化应用、提高附加值的有效途径。灰渣富含钾、硅、镁、铁等作物所需元素，改性生产肥料能够大幅度提高作物的抗逆性、品质和产量。

主要产品生物油为工农业大宗消耗品，不存在产品规模和消费的地域限制问题，经过梯级分离和精制改性，生物油不但可以简单替代车用燃料和锅炉发电燃料，缓解风电和太阳能发电等可再生能源不稳定、难入网的难题，而且还可从中提取许多附加值较高的化学品。通过分散热解、集中发电的方式，热解生物油的重油通过BIGCC能够达到更高的系统效率，一般为35%~45%，同时大大降低了农林废弃物的运输和储存成本以及场地费用等。

发展和推广生物质快速热解液化技术可弥补我国石油缺口，有利于最大化利用生物质能，缓解风电和太阳能发电因间歇性对电网造成的冲击，减少环境污染，改善农村产业结构和缺能现状，解决农民增收和就业问题，符合国家能源战略发展方向和生物质资源高值高效化综合利用的最终要求。同时，也为我国节能减排和发展低碳经济，解决能源安全和三农问题提供了技术和资源支撑。

4.2工厂能源

农林产品加工企业有大量集中的生物质废弃物，同时也需要大量的热电冷能源，一般远离农田，最佳利用途径是采用规模化和高效化的大中型生物质气化，提供优质清洁的燃气和热电冷多联供。副产少量的灰渣富含钾、硅、镁、铁等作物所需元素，可改性生产肥料，实现资源的梯级综合利用。

生物质气化气可用于木材干燥，气化气燃烧过剩空气系数低、热效率高，产生的干热气体直接进入干燥窑烘干木材，无需换热设备，比老式直燃窑炉节能50%以上。与换热器匹配可用于药品、果品、茶叶、谷物的烘干。

5结语

生物质气化实现了低品位生物质能的深层次利用，而不同的气化方式具有不同的适用地区和行业，因地制宜合理选择，才能实现生物质能的高效清洁利用和转化，实现最大化利用资源，获取较大的附加值。从工艺特点、经济效益和规模化生产来看，沼气技术更适合处理高含水的养殖业粪便，快速热解技术更适合于农作物秸秆的规模化转化，燃气型气化技术更适合于社区生活垃圾和农林产品加工的生物质废弃物的处理。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/81708.html>