生物质气化技术和气化炉研究进展

刘作龙，孙培勤，孙绍晖，陈俊武

(郑州大学化工与能源学院，河南郑州450001)

摘要：简单介绍了生物质气化的基本原理及生物质气化炉的分类，阐述了不同类型气化炉的特点及技术指标。

介绍了国内外生物质气化技术在集中供气、供热和发电方面的发展现状和应用情况，重点介绍了适用于大规模生物质气化合成液体燃料的气化炉；指出了生物质气化技术需要解决的问题，提出了我国在生物质气化领域的重点研究方向。

能源是人类赖以生存和发展的基础，随着社会经济的快速发展，人类对能源的需求也越来越大。大量的开采和使用化石能源会污染环境和破坏生态平衡，开发和利用清洁的可再生能源已经迫在眉睫，生物质是可以转化为液体燃料的环境友好的可再生能源，是仅次于煤炭、石油和天然气而居于世界能源消费总量第四位的能源。生物质气化技术是清洁高效利用生物质能的有效途径之一，生物质气化技术除了可以用于发电、供气、供热等方面外，还可以用于将各种生物质能转化成为高品位的液体燃料。

1生物质气化原理

生物质气化是指将固体生物质加热，进行不完全燃烧，使生物质裂解，变成小分子量的CO、H_2、CH_4等可燃性气体，在转换过程中要加入气化剂(空气、氧气或水蒸气)。由于生物质的特殊性质，在气化前还需要经过干燥、破碎和切片等预处理过程。经预处理的生物质在气化炉中，约于600℃下发生热解反应，生成的气体中包括解离气体、气化的挥发分、H_2、CO、CO_2、焦油和水蒸气。由于生物质中的挥发分含量(70%～80%，干基)远高于煤炭(30%)，所以生物质气化的热解反应比煤炭更为重要。挥发分在气相中的热裂化反应可降低焦油量，热解反应的副产物是生成不挥发的焦炭和灰分。在气化炉中的第二反应为焦炭与氧气、蒸汽反应，生成H2、CO、CO_2等气体，未转化的焦炭燃烧为热解反应提供所需的热量。

2生物质气化技术的国内外发展现状

2．1国外生物质气化技术发展概况

生物质气化技术早在18世纪就已出现，第二次世界大战期间，为解决石油燃料的短缺，用于内燃机的小型气化装置得到广泛使用。20世纪五六十年代，煤炭和石油等化石能源的广泛应用，使能源短缺问题得到暂时性的缓解。由于生物质气化技术的不完善和利用率低等原因，生物质气化技术的发展和应用产生了延滞。20世纪70年代，受石油危机的影响，世界各国再一次深该认识到化石能源的不可再生性，重新开始了对生物质能源的开发和研究。经过几十年的发展，欧美等国的生物质气化技术取得了很大的成就。生物质气化设备规模较大，自动化程度高，工艺较复杂，主要以供热、发电和合成液体燃料为主，目前开发了多系列已达到示范工厂和商业应用规模的气化炉(见表1)。

表1　国外气化炉应用情况一览[5]

国家	气化炉类型	原料	效率/%	规模/t·d⁻¹	应用
美国 Taylor	双流化床气化炉	可降解垃圾和废木料	发电效率35～40	300～400	热电联产
美国 Silvagas	双流化床气化炉	木材	发电效率35～40	540	热电联产和柴油
美国 Range Fuels	气流床气化炉	林业废弃物、木材	热效率75	125	乙醇或混合醇
美国 Pearson	气流床气化炉	废木料、锯末、稻杆等	热效率70.5	43	乙醇或混合醇
德国 CHOREN	气流床气化炉	能源作物、木材	热效率90.5	198	合成柴油
丹麦 Carbona	鼓泡流化床	木材	发电效率28	100～150	热电联产
芬兰 VTT	循环流化床	林业废弃物和副产物		60	合成柴油
芬兰 Foster	循环流化床	塑料、木材、轮胎、枕轨		336	热电联产
瑞典 CHRISGAS	循环流化床	木材、秸秆		86	热电联产
德国 Uhde	循环流化床	MSW	气化效率81	15	燃料油
加拿大 Plasco	等离子体气化炉	MSW、塑料	热效率75	100	发电
美国 InEnTec	等离子体气化炉	轮胎、炉渣、医疗废物		218	热电联产氢气、甲醇和乙醇

生物质气化领域处于领先世界水平的国家有瑞典、丹麦、奥地利、德国、美国和加拿大等。瑞典和丹麦正在实行利用生物质进行热电联产的计划，使生物质能在转换为高品位电能的同时满足供热的需求，可以大幅度提高其转换效率。美国在利用生物质能发电方面处于世界领先地位。目前，美国生物质发电装机总容量已达10500MW，70%为生物质—煤混合燃烧气化技术，单机容量30～100MW，发电成本3～6美分/(kW·h)，预计到2015年美国生物质发电装机总容量将达16300MW。美国在生物质气化合成乙醇方面取得了很大的成就。欧盟国家在生物质气化合成柴油方面取得了很大的成就。2004年欧盟国家的生物质气化合成柴油的产量达到224万t，德国是欧盟最大的生物质气化合成柴油生产国，2004年的生产能力达到了109．7万t。

2．2我国生物质气化技术发展概况

我国对生物质气化研究起步较晚，始于20世纪80年代。经过近30年的努力我国生物质气化技术取得了较大的进步，我国自行研制的集中供气、发电、户用气化炉等产品已进入实用化试验及示范阶段，形成了多个系列的气化炉(如表2所示)，可满足多种物料的气化要求，在生活用能、发电、供暖等领域得到应用。但其容量多是小型的，大容量的气化设备仍处于实验室研究阶段。

表2　国内生物质典型气化炉情况一览

气化炉类型	气化效率 %	热值 MJ·m⁻³	规模	应用	研究单位
上吸式 GSQ－1100	75	5.0	1 080～2 630 MJ/h	供热	中科院广州能源所
下吸式 ND 系列	65～75	4.8～6.1	500～650 MJ/h	供热	中国农业机械化研究院
下吸式 HQ/HD－280	70	4.5～5.0	8～10 m³/h	户用气化	中国农业机械化研究院
下吸式 XFL	72～75	5.0	100～500 户	集中供气	山东能源研究所
热管式气化炉		8.0～10.0		热电联产	南京工业大学能源学院
LZ 干馏热解气化炉	28.8	14.0	1 000 户	集中供气	大连市环科设计研究院
GB－210W－22000 型干馏气化热解气化炉	100		40 t/d	城市生活垃圾处理	上海万强科技开发有限公司
锥形流化床气化炉	67.5	4.0～6.0	3 MW	供电、供气、供热	中国林业科学研究院林产化学工业研究所
下吸式固定床气化炉	75	5.5～6.5	0.05 MW	发电	辽宁市能源所
流化床气化炉	78		4 MW	发电	中科院广州能源所

在供气、供暖方面：中国农业机械化研究院研制的ND系列和锥形流化床、山东科学院能源研究所研制的XFL系列、广州能源所研制的的GSQ系列固定床气化炉在户用、集中供气和供热等方面取得了一定的环保和经济效益。生物质气化发电方面：80年代初期，我国自主研制了由固定床气化器和内燃机组成的200kW稻壳发电机组并得到推广；中国农机院、中国林科院分别在河北、安徽建立了400kW气化发电机组；胜利油田动力机械有限公司成功研制了功率190kW的180GF－RFm型秸秆气发电机组；广州能源所以木屑和木粉为原料应用循环流化床气化技术，完成发电能力为4M

W的气化发电系统的开发。在合成液体燃料方面也取得一定成就，广州能源所已成功研制了合成柴油中试装置和年产百吨级生物质气化合成DME的中试装置。

3气化炉发展现状

气化炉是生物质气化系统中的核心设备，生物质在气化炉内进行气化反应，生成合成气。生物质气化炉可以分为固定床气化炉、流化床气化炉、气流床气化炉(EF)及等离子体气化炉(Plasma)等类型。

3．1固定床气化炉

固定床气化炉中气化反应是在一个相对静止的物料床层中进行，即物料相对于气流来说，是处于静止状态。物料在炉内基本上是有层次的分为四个阶段，即干燥阶段、热解阶段、燃烧阶段、还原阶段。固定床气化炉的炉内反应速度较慢。根据炉内气化剂的流动方向，可将固定床气化炉分为四类：上吸式、下吸式、横吸式和开心式。固定床气化炉的优点：气化炉结构简单、投资少、运行可靠、操作比较容易，对原料的种类及粒度要求不高。缺点：固定床气化炉通常产气量比较小，多用于小型气化站、小型热电联产或户用供气，不适合大规模的生产。

3．2流化床气化炉

颗粒状的物料被送入炉内，并掺有精选的惰性材料(砂子和橄榄石等)作为流化床材料，在炉体底部以较大压力通入气化剂，使炉内呈沸腾、鼓泡等不同状态，物料和气化剂充分接触，发生气化反应。按气化炉结构和气化过程，可将流化床气化炉分为：鼓泡流化床(BFB)、循环流化床(CFB)及双流化床(Dual)(各气化炉的技术指标见表3)。流化床气化炉的优点：温度稳定均匀；使用燃料颗粒很细小，传热面积大；气化效率高；适用于连续运转，适合大规模的商业应用。

表3　各种气化炉技术指标的比较

类型	原料要求	合成气质量	发展现状	规模放大潜力	成本
EF	★ 粒径<1 mm，含水量<15%，低灰分	★★★ 非常低的 CH_4、C_2^+ 和焦油含量，高含量 H_2、CO	★★★ 有大规模 BTL 装置建设的经验，大量的工业实践	★★★★ 有建成非常大的气化炉和工厂的可能性	★★★ 气化效率高，若减少昂贵的预处理费用，价格降低
BFB	★★★ 粒径 50～150 mm，含水量 10%～55%，灰分敏感	★★ 存在 C_2^+、焦油，吹氧时，高含量 H_2、CO，有颗粒物	★★ 过去用于产热和发电，中度的放大，有 BTL 应用的潜力	★★★ 有很多大的工程计划	★★ 可能较高的气化炉投资和低的效率
CFB	★★★ 粒径<20 mm，含水量 5%～60%，灰分敏感	★★ 存在 C_2^+、焦油，吹氧时，高含量 H_2、CO，有颗粒物	★★ 广泛的产热和发电方面研发经验，很少的 BTL 方面研发	★★★ 有很多大的工程计划	★★★ 可能较高的气化炉投资
Dual	★★★ 粒径<75 mm，含水量 10%～50%，灰分敏感	★★ 存在 C_2^+、焦油，高 H_2 含量，高含量 CH_4，有颗粒物	★ 很少和小型的研发，发展初期，近期才有 BTL 应用的潜力	★★ 有一些工程计划，只是中等规模	★★★ 潜在较低的合成气生产成本
Plasma	★★★★ 无特殊要求	★★★★ 没有 CH_4、C_2^+ 和焦油，高含量 H_2 和 CO	★★ 有一些开发和许多发电方面的应用	★ 中小规模	★ 非常高的投资，低的效率

注：对每个类型各项性能进行比较时：★最差，★★★★最好。

3．3气流床气化炉(EF)

已被粉碎的原料和被加压的气化剂(氧气或水蒸气)从塔顶同时进入气化炉。塔顶部的湍流火焰燃烧部分原料，为整个气化过程提供足够的热量，气化炉内的温度达到1300℃。气流床的特点：合成气出炉的温度可达1300℃，大部分焦油可在半焦气化过程中裂化，出炉的合成气中几乎不含焦油；气化炉壁上的灰融物可当作熔渣除去。

3．4等离子体气化炉

原料从塔顶进入气化炉，接触到常压、温度为500～1500°C的由电生成的等离子体后，原料中有机物转化为高质量的合成气，无机物变成玻璃化的惰性熔渣。这种炉的气化效率很高，得到不含焦油的合成气。等离子弧也可以用于净化合成气。

气化炉是气化过程的最关键设备，选择用于生产液体燃料的生物质气化炉时需要从五个方面进行考虑：对原料的要求、生产合成气的质量、研发状态和操作经验、规模放大的潜力、成本。综合分析可用于合成液体燃料气化炉的性能比较如表3所示。常用的生物质大规模气化制合成气的气化炉主要有BCL(Battelle)双流化床气化炉和ITG(Institute of Gas Technology)鼓泡流化床气化炉，还有CHOREN公司新开发的Carbo－V气流床气化炉。

BCL气化炉是常压、间接加热的双流化床气化炉，气化反应以深度热解为主。气化炉由流化床气化反应器和半焦燃烧室组成。经过干燥的生物质原料从气化反应器下部进入，从底部通入蒸汽作气化介质，蒸汽与木材比(质量比)为0．4。使用合成橄榄石作为流化介质和热载体，在气化反应器和半焦燃烧器之间循环。

IGT气化炉是吹氧式、高压鼓泡流化床气化炉，因反应气体中含氧高，燃烧部分生物质提供热量，不需另加入能量；如果改用空气送氧，生成气中还含一定量的氮气。IGT压力气化炉在提高蒸汽用量后，可按“最大氢气量”模式操作，IGT压力气化炉生产的合成气含CO_2
较高(30%
～35%，干基)。合成气中的甲烷组分可经过重整生成氢气，也可直接用作透平燃料；生成气的H_2/CO=1．4/1。

Carbo－V气流床气化炉经过预处理的生物质原料首先在回转式气化炉中进行低温气化，生成可燃气和焦炭组分。含焦油的可燃气体经过烧嘴进入Carbo－V高温气化炉，从炉顶送入预热的空气/氧气。

低温气化生成的焦炭也送入Carbo－V高温气化炉中部，最终生成不含焦油的合成气。Carbo－V气化炉的优点：合成气中不含焦油，无需采用催化净化处理；气化效率较高，达到80%以上；合成气可用作发电燃料，发电效率可达40%；原料来源广泛，可加工各种干燥后的含碳原料；可将灰分转化为适用于建筑材料的熔渣颗粒；合成气中的氢含量高，每千克原料产氢1．2m^3
。2008年在德国建立了年产合成柴油15000t的商业工厂，我国也在2008年引进该技术建立了以煤为原料的25000MW的发电厂。

4结束语

经过了30年的研究和开发，我国的生物质气化技术在集中供气、供热、发电方面进入到示范应用研究阶段，

并探索了生物质气化合成液体燃料、制氢的技术；但是和欧美等发达国家相比我国的气化技术还有很大的差距。在气化技术方面还存在许多问题：规模小、气化效率低、合成气热值低、焦油含量较高、经济效率低等问题。

生物质气化技术需要解决的关键技术问题及未来发展方向主要包括：大力开发气化效率高、产气热值高的气化炉技术；开发新的焦油脱除技术，降低合成气中的焦油含量；流化床气化炉具有较好的经济效益和放大的潜力，流化床气化炉技术为我国今后生物质气化研究的主要方向；开发规模较大的流化床气化炉技术，为以后大规模的生物质气化合成液体燃料提供基础。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/82619.html