

2.1 生物质直接燃烧技术

生物质在空气中燃烧是人类利用生物质能历史最悠久的、应用范围最广的一种基本能量转化利用方式，包括炉灶燃烧和锅炉燃烧技术。传统的炉灶转化效率不到10%，即使是优化的省柴灶也不过0%~25%。炉灶燃烧能量利用水平低，卫生条件差，但是在我国经济欠发达的农村特别是中西部地区仍是主要的生活用能方式。

锅炉燃烧技术是更高效率的直接利用技术，以生物质为燃料锅炉主要也是用来大规模集中发电、供热和采暖，在经济发达的欧美国家和巴西应用较多，例如奥地利Arbesthal集中供热系统，美国宾夕法尼亚州Viking木材发电厂，都是世界上成功运行的先例。15~715MW规模不等的流化床锅炉已商业化运行20a，美国就有100多座。瑞典、丹麦、德国等国家在流化床燃用生物质燃料技术方面具有较高的水平。

生物质能燃烧的净生物能转化效率为20%~40%，负荷达100MW以上或采用与煤共混燃烧技术时可以得到更高的转化效率。大型燃煤电厂将生物质与矿物燃料联合燃烧已成为新的概念，如将木材及其废弃物、农业废弃物和城市生活垃圾燃烧发电或直接供热，目前燃烧功率可达到50MW。美国这方面比较领先，相关的发电装机容量已达750万kW。我国也已经开始混燃发电的相关尝试，但是碱金属结渣是生物质锅炉燃烧转化技术中最棘手的难题，还有待于理论上的突破与解决。

生物质直接燃烧发电技术投资较高，大规模使用时效率也较高，但要求生物质集中，达到一定的资源供给量，降低投资和运行成本是其未来发展方向。由于生物质结构蓬松，堆积密度大，不容易储存和运输。经过机械加压将粉碎后的生物质挤压成致密的条形或颗粒形的成型燃料的工艺称为致密成型技术。经过这样的固化处理后，生物质的品位提升，强度增加，储运更加便捷。固化技术的耗能是该技术推广应用的关键。

目前我国在生物质燃烧发电方面技术发展相对落后，大量薪材和作物秸秆长期仅作为农村生活用能资源使用，利用率极低，燃烧还产生烟尘、NO_x和SO₂等污染物。为了开发和利用生物质能，龙基电力公司于2004年从丹麦引进世界先进的生物质直燃发电技术。截至2007年底，我国共有10家生物发电厂陆续建成投产并网发电。

与走在生物质能发电前列的国家相比，中国的生物质发电扶持政策远远落后。投资成本巨大、产业门槛过高使生物质能发电发展并不顺利。总体来看，生物质发电产业在我国目前还处于起步阶段，产业基础薄弱，自身经济效益不高，与常规大型燃煤发电厂相比缺乏市场竞争力。国产生物质发电锅炉的制造尚处于试验示范阶段，还没有摆脱对国外技术或进口设备的依赖，对生物质直燃发电厂的运行经验也十分缺乏。

2.2 生物质气化

生物质气化是开展较早且较为成熟的生物质规模化利用技术之一，不仅可以实现居民生活集中供气、供热，还能实现内燃机、燃气透平等设备的发电，是高转化效率的先进工艺。生物质气化技术起源于18世纪末，经历了上吸式固定床气化器、下吸式固定床气化器、流化床气化器等发展过程。在生物质热解气化技术方面，欧美等国处于领先水平。美国研制出生物质整体气化联合循环技术(BIGCC)气化效率保持在75%，输出能量可达到4万MJ/h。采用该技术的30~60MW的发电厂的能量利用效率可以达到40%~50%。最近出现的IGCC和HATC作为先进的生物质气化发电技术，已在世界上不同地区(如巴西、美国和欧洲联盟)建成示范装置，规模为0.5~3MW(HATC)、7~30MW(IGCC)，发电效率达35%~40%。德国、意大利、荷兰等国家也在生物质气化技术方面开展了大量的研究工作，产品已进入商业推广阶段。总体上看，欧美发达国家研制的生物质气化装置规模较大，自动化程度高，工艺复杂；以发电和供热为主，造价较高。

为满足发展中国家农村用能的需要，一些国家研究了小型生物质气化设备。如孟加拉国建成下吸式气化装置投入运行，马来西亚用固定床气化发电。印度以稻壳和可可壳为原料，研制出3.7~100kW多种规格的上吸式气化炉生物质气化发电装置。

与发达国家生物质热化学转换利用技术相比，我国很多科研单位虽然在相关方面取得了较为显著的成果，但是仍然有很大差距。中国农机院开发了ND系列生物质气化炉和家用小型生物质煤气炉灶，中科院广州能源研究所研制了上吸式气化炉，山东省能源研究所研制出燃用农作物秸秆(以玉米秆为主)的固定床气化炉。浙江大学在固定床气化炉的基础上发展了中热值气化技术。中科院广州能源研究所在三亚建成的大型1MW生物质(木屑)气化发电厂已投入使用，但开发的4MW生物质气化发电技术在稳定运行、焦油清除、气体净化等技术上还需要提高。

为解决生物质气化过程中气化不完全产生的焦油、颗粒、碱金属、含氮化合物等不同浓度的污染物，人们正研究采

用催化剂来提高气化率和消除气化中的焦油。寻找低成本和高热值的生物质气化技术是生物质热解气化技术发展的重要方向。

2.3 生物质液化技术

生物质液化技术可以将生物质废弃物转化为燃料油。生物燃油是替代燃料的主要来源，据预测，到2050年生物质至少能提供38%的燃料。美国能源部计划到2050年达到交通运输燃料的30%由生物燃油替代。生物质液化技术分为直接液化与间接液化。直接液化技术主要指热化学法生产生物油；间接液化是模仿煤基间接液化，通过费托合成制取液体燃料的技术。

2.3.1 直接液化技术

直接液化技术分为两种：一种是高压液化技术，包括催化液化和超临界液化。欧美等国正积极开展这方面的研究工作，包括超临界水液化纤维生物质、超临界水和超临界甲醇液化木质素生物质等技术。我国还没有见到相关的研究成果。另一种液化技术是在常压下进行的生物质快速(闪速)热裂解技术。

目前许多国家都先后开展了这方面的研究工作，开发了很多不同的热裂解工艺，快速热裂解的反应器主要分为如下几类：(1)机械接触式反应器。典型的有英国Aston大学的烧蚀热裂解反应器、美国国家可再生能源实验室(NREL)提出的涡流反应器及荷兰Twente大学设计的旋转锥反应器等；(2)间接式反应器。如美国Washington大学的热辐射反应器；(3)混合式反应器。如加拿大Waterloo大学的流化床热裂解系统、加拿大Ensyn提出的循环流化床反应器和美国乔治亚理工学院(GIT)开发的携带床反应器等。相比于前两种类型，国外已开发并且试图规模化的生物质热裂解液化反应装置侧重于第三类，尤其是应用流化床技术的生物质热裂解反应器。

Ensyn公司最早建立了商业规模的快速热裂解装置，当前最大生产能力可达到75t/d生物质的消耗量。加拿大达茂科技公司利用鼓泡流化床生物质反应器于1997年成立了可日产半吨生物油的示范厂。2006年在加拿大安大略省西洛恩镇建成日耗100t生物质的快速热裂解装置。BTG公司基于荷兰Twente大学的旋转锥反应器技术，2005年在马来西亚建成一座50t/d的生物油厂。

由于传统的热解技术不适合湿生物质的热转化，欧洲很多国家已开始研究新的热解技术Hydro Thermal Upgrading(H TU)。该技术将湿木片或生物质溶于水中，经高压软化并液化后进行经脱羧基作用，移去氧，从而产生生物油。荷兰Shell公司试验表明：通过催化，可获得高质量的汽油和粗汽油。

近几年来，我国陆续开展生物质热解液化的研究。沈阳农业大学最早从荷兰BTG引进一套50kg/h旋转锥闪速热裂解装置并进行了相关的试验研究。浙江大学建立了流化床快速热裂解试验中试装置。中国科学院广州能源所发明了自热式循环流化床生物质热解油化装置(专利号ZL01242632.6)，并进行热解液化热态小试及中试。中国科技大学则提出低成本无污染的生物质液化工艺及装置(专利号ZL01134142.4)。山东理工大学开发出离心分离陶瓷球加热下降管热裂解液化工业示范装置，达到200kg/h加工能力；东北林业大学开发了高速旋转锥液化装置；上海理工大学建立了小型旋转锥热解装置。目前这些工作尚处于起步阶段。

2.3.2 间接液化技术

间接液化技术是先通过气化得到以CO、CH₄和H₂为主的生物质合成气，然后将合成气经过催化重整调配碳氢比，再利用催化工艺合成甲醇、二甲醚和烷烃(柴油)等的过程。间接液化得到的是与传统化石燃烧类似的碳氢燃料，能够直接用作动力和交通燃料，具有较高的性能。但是间接液化工艺复杂，最后一步的催化合成对合成气比例、洁净程度要求非常高，目前生物质合成气制备技术还不成熟。

生物质间接液化的第一步是制取合成气，这种以生产合成气为目标的气化过程称为生物质定向气化，其目的是使木质纤维素尽可能多地转化为富含H₂、CO和CO₂的混合气体，以减轻后续重整变换的难度，不以合成气热值为追求目标。以下措施有助于实现生物质的定向气化：提高气化反应温度；采用纯氧和水蒸气复合作为气化剂；延长反应物在气化炉内的滞留时间；提高气化反应的运行压力。高效、清洁的生物质定向气化技术是生物质利用中重要的上游技术，生物质定向气化的关键技术在于选择性的提高，高活性和高选择性催化剂及反应器的开发等。

3 生物化学技术

生物化学转化包括生物发酵(产生乙醇)和厌氧性消化(产生沼气)以及生物制氢技术。

3.1 生物发酵

通过发酵方法制取生物乙醇,有两种途径:一是粮食类,以玉米等淀粉类和甘蔗汁、砂糖等糖蜜类物质为主要原料;另一类则是以农业废弃物(秸秆、玉米芯、大豆渣、甘蔗渣等)、工业废弃物(纸浆纤维渣、锯末等)、城市废弃物(废纸、包装纸等)及林业废弃物等纤维素含量较高的物质为发酵原料。采用淀粉和纤维素类原料生产乙醇,可分为三个阶段:大分子生物质分解成葡萄糖、木糖等单糖分子,单糖分子经糖酵解形成二分子丙酮,然后无氧条件下丙酮酸被还原成二分子乙醇,并释放CO₂;
糖类作物不经过第一阶段,进入糖酵解与乙醇还原过程。纤维素作物中的纤维素成分分解成六碳糖,半纤维素则分解成五碳糖。

工业上利用粮食如含糖或淀粉的甘蔗、玉米和甘薯等原料发酵生产乙醇的技术已趋成熟并规模化应用。但利用杂草、秸秆等含大量纤维素的植物发酵生产乙醇技术正在开发中。使用纤维素原料制取乙醇,工艺复杂,成本较高,利用六碳糖生产乙醇技术非常成熟,但是五碳糖发酵生产乙醇技术相对落后。找到适用于木质素的高效酶技术和应用嗜热厌氧微生物和重组菌种直接生物转化为乙醇是该领域的两个重要方向。

目前,在生物化学法生产乙醇技术方面比较好的国家和地区是巴西、美国和欧盟。美国和巴西分别用玉米和甘蔗大量生产乙醇。1975年以来,巴西为摆脱对石油的依赖,开展了世界最大规模的燃料乙醇开发计划,目前巴西是世界上最大的燃料乙醇生产国、出口国和消费国,年生产能力达1500万t,70%使用乙醇汽油燃料汽车,是世界上唯一在全国不供应纯汽油的国家。美国是燃料乙醇的主要生产国之一,早在20世纪30年代就开展了燃料乙醇的研究及应用。2005年美国乙醇产量达1200万t,2006年美国新增产能540万t。

为节约粮食,许多国家开展了非粮作物如甜高粱及木薯制乙醇工艺的研究与开发,如我国863计划中/甜高粱制取乙醇的实施。从原料供给及社会经济环境效益来看,用含纤维素较高的农林废弃物生产乙醇是比较理想的工艺路线。

纤维素类生物质制乙醇是把木质纤维素水解制取葡萄糖,然后将葡萄糖发酵生成燃料乙醇的技术。但是纤维素水解只有在催化剂存在的情况下才能有效进行。常用的催化剂是无机酸和纤维素酶,由此分别形成了酸水解工艺和酶水解工艺。我国在这方面开展了许多研究工作,如华东理工大学开展了以稀盐酸和氯化亚铁为催化剂的水解工艺及水解产物葡萄糖与木糖同时发酵的研究,转化率在70%以上。

中国科学院过程工程研究所开展了纤维素生物酶分解固态发酵糖化乙醇的研究。以美国国家可再生能源实验室(NREL)为代表的研究者,通过转基因技术得到了能发酵五碳糖的酵母菌种,开发了同时糖化发酵工艺,并建成了具有一定规模的中试工厂,但由于关键技术未有突破,生产成本一直居高不下。综上所述,纤维素类水解发酵是目前制取乙醇的难点,这一技术的突破将使生物质的生化转换效率大幅度提高,从而大大提高该技术的工业化步伐。

3.2 厌氧性消化

厌氧性消化产生CH₄

(体积分数55%~65%)

和CO₂(体积分数30%~40%)气体混合物

。商业运行的厌氧消化器容量达2000m³,产生的沼气直接用于炊事、供暖以及作为燃料供内燃机发电。

沼气发酵生产技术在污水处理、堆肥制造、人畜粪便、农作物秸秆和食品废物处理等方面得到广泛应用,反应器类型以厌氧式结构为主。目前沼气发酵生产技术已将产气与发电相结合。2005年欧盟范围内建成使用的沼气化垃圾处理厂约有百余家,处理有机垃圾量达350万t。

目前,使用再生能源(风能和太阳能)政策较好的国家,如德国和瑞士,更是倾向发展沼气化处理垃圾技术。西班牙也在大力推广该项技术,巴塞罗那新建了三座沼气化垃圾处理厂。在法国,10余个新建项目正在计划之中。此外日本的朝日、麒麟等几个大啤酒厂都已配套建成了200kW的燃料电池发电机组;京都市将食物废渣集中发酵,并从所产沼气中提取氢气供燃料电池发电;还有公司成功利用下水污泥生产沼气或提取氢气。

³，生活污水净化沼气池总池容636.91万m³，大中型沼气工程总池容172.4万m³，年产气量3.4亿m³。杭州、天津、山东济阳、潍坊、北京、广州、马鞍山等已利用垃圾填埋场进行沼气发电。与热化学过程相比，生物化学转化技术其转化反应活化能低，在一个容器内可以进行多步反应，产率高，反应器结构专一，可利用含水量高的生物质原料。但是该类技术反应速度慢，操作复杂，催化剂再生成本较高。

据估计，生物质生物化学转化的运行成本是热化学转化的3倍。另外，目前采用的沼气发酵技术耗水量大，也大大增加了投资成本和运行管理费用。发酵过程中产生的残渣较多，容易成为恶臭来源。对固体状有机质沼气发酵工艺、技术、设施开发的研究还不多。厌氧消化技术中的微生物代谢能量学、生物膜动力学、悬浮污泥系统与生物膜系统反应器内的非均相动力学、热力学、传热传质学的基础研究均有待加强。

3.3 生物制氢技术

广义上讲，生物制氢是指所有利用生物产生氢气的方法，包括微生物产氢和生物质气化热解产氢等。狭义上讲，生物制氢仅指微生物产氢，包括光合细菌(或藻类)产氢和厌氧细菌发酵产氢等。

目前一般采用的方法有光合生物产氢、发酵细菌产氢、光合生物与发酵细菌的混合培养产氢。作为生物制氢技术中研究最早的制氢途径，藻类(蓝细菌)能直接利用水和太阳光进行产氢，被认为是最具有前途的制氢途径，也是目前生物制氢中研究最多的技术。目前，美国、日本、欧盟、中国等在藻类分子生物学、耐氧藻类开发、促进剂等技术领域取得了突破性进展，并开发了各式生物反应器，完成了藻类制氢从实验室逐步走向实用的转化。但藻类产氢不稳定且易被其副产品氧气所抑制。与藻类相似，蓝细菌在产氢的同时也会产生氧气，而氧是固氮酶的抑制剂。通过基因工程改变藻类的基因从而提高藻类耐氧能力是目前的主要研究内容。

厌氧细菌产氢也被认为是较为理想的产氢途径，引起了国内外氢能科技工作者的重视，我国在厌氧产氢细菌选育、产氢机理和工程技术等方面取得了令人瞩目的研究进展。但厌氧细菌在发酵制氢过程中存在产氢量和原料利用率低的问题，制约了厌氧细菌产氢技术的进一步应用与发展。

哈尔滨工业大学在厌氧发酵产氢技术上取得了一定的成果，通过选育得到了高转化细菌，建立了非固定化连续流混合菌发酵方法，已完成500~1000m³/d的中试试验，目前正在建立600m³/d的工业化试验装置，成本低于水电解法制氢成本。

光合细菌对光的转化效率高，但它只对特定波长的光线有吸收作用，而提供充分的波长合适的光能又会消耗大量的能源，光源的维护与管理变得复杂，使产业化制氢难度变大。国内的河南农业大学对光合产氢进行了较系统的深入研究，并取得了一些重要进展。

虽然在发酵法制取氢气的研究上已经取得了很大的成绩，但是这种技术至今没有被广泛地利用。另外，对于生物制氢，氢气的纯化与储存是一个关键问题。生物法制氢产物中氢气体积分数通常为60%~90%，气体中可能混有CO₂、O₂和水蒸气等。有人尝试使反应气体通过钯-银膜，以实现反应与分离的耦合。

目前，生物制氢需要解决的问题及研究重点主要可概括为以下几个方面：(1)氢气形成的生物化学机制研究。(2)高产菌株的选育。(3)光的转化效率及转化机制方面的研究。(4)原料利用种类的研究。(5)制氢反应器内传输机理与特性及产氢动力学方面的研究。(6)氢气与其他混合气分离工艺的研究。(7)副产物利用方面的研究。(8)反应器最优设计与控制等。

4 结语

开发生物质能已经成为世界各国的共识。开发生物质能源将涉及农村发展、能源开发、环境保护、资源保护、国家安全和生态平衡等诸多利益，具有重要的战略意义和现实意义。目前我国生物能源与生物化工产业处于起步阶段。我国生物质的发展既要学习国外先进经验，又要强调自己的特色，因地制宜，积极开展多种生物质能利用技术。从资源潜力、生产成本以及可能发挥的作用分析，包括生物燃油产业化在内的生物质能产业化开发技术将成为中国能源可持续发展的新动力。

从环保、能源安全和资源潜力综合考虑，在中国推进包括以沼气、秸秆、林产业剩余物、海洋生物、工业废弃物为原料的生物质能产业化的前景将十分广阔。2006年1月1日，5可再生资源法6在我国正式实施。2007年12月，5能源法6征求意见稿对外发布，其中直接把支持生物质能源等新能源的发展写进了法案中，这也预示着国家将会在政策、补贴、研究等方面对生物质能源的开发和利用优先支持。在国家政策的扶持下，中国生物质能源产业的布局将会得到改善、产业链将逐步完善。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/84963.html>