生物质气化发电技术及应用前景

谢军，吴创之，阴秀丽，林勇杰

（中国科学院广州能源研究所，广东 广州510640）

摘要：随着我国经济的高速发展，能源短缺、环境污染问题日益严峻，人类正急切地寻求新型可再生能源。介绍了生物质气化发电技术的历史、原理和应用概况。阐明生物质气化发电技术是所有可再生能源技术中最经济的发电技术，其综合发电成本已接近小型常规能源的发电水平。文章对这种新型可再生能源的商业化推广，作了经济性评估和社会效益测评。认为伴随着我国5可再生能源开发利用法6的即将出台，生物质气化发电技术必将成为发展最快的新型产业之一。

进入21世纪，中国经济高速发展，能源短缺、环境污染等问题日益突出。2003年夏天，全国爆发了前所未有的大面积电荒，31个省市自治区中，有19个拉闸限电；2004年拉闸限电的省市自治区，从19个增加到24个。2004年的春天，全国电力供应缺口已超过了30MW/h。2004年我国全年进口原油突破1.2亿t，已超过日本，成为仅次于美国的世界第二个石油消费国。

2002年的监测数据表明，53.5%的城市颗粒污染物超过二级标准，16.6%的城市SO_2超过二级标准，其中绝大部分是煤燃烧和汽车尾气造成的[1]。我国在新世纪全面实现现代化建设进程中，面临着严峻的能源资源短缺和环境污染两大挑战，开发新型、高效、清洁的能源，已成了当务之急。因此，大力推广和应用包括生物质能在内的各种可再生能源和新能源意义十分重大。

1生物质能概况

生物质能是指蕴藏在生物质(泛指一切有生命的可以生长的有机物质)中的能量，是绿色植物通过叶绿素将太阳能转化为化学能而存在生物质内部的能量。煤、石油和天然气等化石能源也是由生物质能转变而来的。生物质能是可再生能源，通常包括：(1)木材及森林工业废弃物；(2)农业废弃物；(3)水生植物；(4)油料植物；(5)城市及工业有机废弃物；(6)动物粪便。

生物质能就其能量当量而言，仅次于煤、石油、天然气而列第4位，在世界能源消耗中，生物质能占总能耗的14%，在发展中国家占到多达40%以上[2]。根据生物学家估算，地球上每年生长的生物质能总量约为14001800亿t(干重)，相当于目前世界总能耗的10倍。我国生物质能资源极为丰富，年产量折合成标准石油当量超过8亿t。能源总量超过了30 EJ($E=10^{18}$)。随着我国农业和林业的发展，特别是随着速生炭薪林的开发推广，我国的生物质资源将越来越多，有非常大的开发和利用潜力。

生物质燃烧是传统的利用方式，热效率低下，劳动强度大，污染严重。通过生物质能转换技术，可以高效地利用生物质能源，生产各种清洁燃料，代替煤炭、石油和天然气等燃料；还可用来生产电力，减少对矿物能源的依赖，保护国家能源资源，减少能源消费给环境造成的污染。

生物质气化技术是通过热化学反应，将固态生物质转换为气体燃料的过程。生物质气化技术已有100多年的历史。最初的气化反应器产生于1883年，它以木炭为原料，气化后的燃气驱动内燃机，推动早期的汽车或农业排灌机械。生物质气化技术的鼎盛时期出现在第2次世界大战期间，当时几乎所有的燃油都被用于战争，民用燃料匮乏，因此，德国大力发展了用于民用汽车的车载气化器，并形成了与汽车发动机配套的完整技术。

我国在能源困难的20世纪50年代，也曾使用这种方法驱动汽车和农村排灌设备。当时固定床气化反应器的技术水平，已达到相当完善的程度。二战后随着廉价优质的石油广泛被使用，生物质气化技术在较长时期内陷于停顿状态。但2次石油危机后，使得西方发达国家重新开始审视常规能源的不可再生性和分布不均匀性，出于对能源和环境战略的考虑，纷纷投入大量人力物力，进行可再生能源的研究。作为一种重要的新能源技术，生物质气化的研究重新活跃起来，各学科技术的渗透，使这一技术发展到新的高度。

我国生物质气化技术在20世纪80年代以后得到了较快发展。主要的技术为固定床气化和流化床气化，一般情况下已不再使用木炭，而是使用各种木材、林业残余物和稻壳，产生出主要用于发电的可燃气体。在生物质气化联合循环发电(B/IGCC)方面，国外做了很多大型的示范电站，如美国Battelle(63MW)和夏威夷(6MW)项目，意大利(12MW)，英国(8MW)示范工程等。在国内，很多单位也做了很多生物质气化方面的基础研究和应用研究，如中国科学院广州能源研究所，成功地把流化床技术应用到生物质气化发电方面，使用木屑或稻壳的1MW流化床发电系统已经投入商业运行，分别在海南三亚、广东揭东建立了MW级气化发电示范工程，并取得了良好的经济和社会效益。该技术设备还出口到泰国，受到国际专家的广泛好评。目前，产品已经升级到4MW生物质气化联合循环发电，正在江苏兴化市兴建，预计2005年5月份投产运行。

2生物质气化发电技术

2.1气化发电技术原理

生物质气化发电技术的基本原理，是把生物质转化为可燃气，再利用可燃气推动燃气发电设备进行发电。它既能解决生物质难于燃用而且分布分散的缺点，又可以充分发挥燃气发电技术设备紧凑而且污染少的优点，所以，气化发电是生物质能最有效、最洁净的利用方法之一。

气化发电过程主要包括3个方面：一是生物质气化，在气化炉中把固体生物质转化为气体燃料；二是气体净化，气化出来的燃气都含有一定的杂质，包括灰分、焦炭和焦油等，需经过净化系统把杂质除去，以保证燃气发电设备的正常运行；三是燃气发电，利用燃气轮机或燃气内燃机进行发电，有的工艺为了提高发电效率，发电过程可以增加余热锅炉和蒸汽轮机[2]。

以江苏省兴化市4MW生物质气化燃气)蒸汽联合循环发电示范工程为例(正在建造中)，该联合循环发电装置主要由进料机构、燃气发生装置、余热锅炉(蒸汽发生装置)、焦油裂解装置、燃气净化装置、空气预热装置、燃气发电机组、蒸汽轮机发电机组、循环冷却水装置、水处理装置、电气控制装置及废水、废渣处理装置等几部分组成。系统示意图如图1所示。

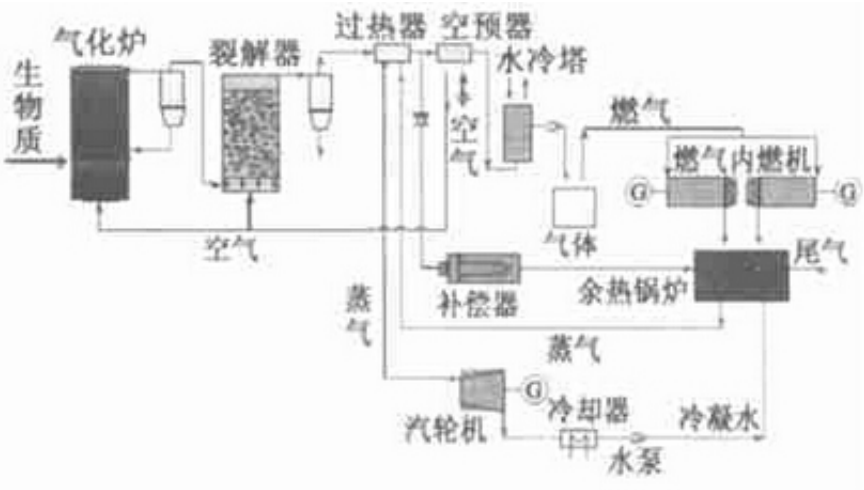

图1 生物质气化联合循环发电系统示意图

2.2气化发电技术分类

2.2.1从气化过程上分

由于生物质气化发电系统采用气化技术和燃气发电技术的不同，其系统构成和工艺过程有很大的差别。从气化形式上看，生物质气化过程可以分为固定床气化和流化床气化两大类。

(1)固定床气化，包括上吸式气化、下吸式气化和开心层式气化，这3种形式的气化发电系统现在都有代表性的产品。

(2)流化床气化，包括鼓泡床气化、循环流化床气化及双流化床气化，这3种气化发电工艺目前都在研究，其中研究

和应用最多的是循环流化床气化发电系统。另外，国际上为了实现更大规模的气化发电方式，提高气化发电效率，正在积极开发高压流化床气化发电工艺。

2.2.2从燃气发电过程上分

气化发电可分为内燃机发电系统、燃气轮机发电系统及燃气)蒸汽联合循环发电系统。

(1)内燃机发电系统，以简单的内燃机组为主，可单独燃用低热值燃气，也可以燃气、燃油两用，它的特点是设备紧凑，系统简单，技术较成熟和可靠。

(2)燃气轮机发电系统，采用低热值燃气轮机，燃气需增压，否则发电效率较低，由于燃气轮机对燃气质量要求较高，并且需有较高的自动化控制水平和燃气轮机改造技术，所以，一般单独采用燃气轮机的生物质气化发电系统较少。

(3)燃气)蒸汽联合循环发电系统，是在内燃机、燃气轮机发电的基础上，增加余热蒸汽的联合循环，这种系统可以有效地提高发电效率。一般来说，燃气)蒸汽联合循环生物质气化发电系统，采用的是燃气轮机发电设备，而且最好的气化方式是高压气化，构成的系统称为生物质整体气化联合循环系统。它的一般系统效率可达40%以上，是目前发达国家重点研究的内容。

2.2.3从发电规模上分

生物质气化发电系统可分为小型、中型、大型，如表1所示。

表 1　各种生物质气化发电技术的特点

系统规模	气化过程	发电过程	主要用途
小型 < 200 kW	固定床气化 流化床气化	内燃机组 微型燃气轮机	农村用电 中小型企业用电
中型 500 000 kW	常压流化床气化	内燃机	大中型企业自备电站 型上网电站
大型 > 5 000 kW	常压流化床气化、高压流化床气化、双流化床气化	内燃机+蒸汽轮机 燃气轮机+蒸汽轮机	上网电站 独立能源系统

(1)小型气化发电系统：简单灵活，其主要功能为农村照明或作为中小企业的自备发电机组，它所需的生物质数量较少，种类单一，可以根据不同生物质形状选用合适的气化设备，一般发电功率小于200kW。

(2)中型生物质气化发电系统：主要作为大中型企业的自备电站或小型上网电站，它适用于一种或多种不同的生物质，所需的生物质数量较多。生物质需要粉碎、烘干等预处理，所采用的气化方式主要以流化床气化为主，中型生物质气化发电系统用途广泛，适用性强，是当前生物质气化发电技术的主要方式，功率一般为0.53MW。

(3)大型生物质气化发电系统：主要作为上网电站，它适用的生物质较为广泛，所需的生物质数量巨大，必须配套专门的生物质供应中心和预处理中心，是今后生物质利用的主要方式。该系统功率一般在5MW以上，虽然与常规能源比仍显得非常小，但在技术发展成熟后，它将是今后替代常规能源电力的主要方式之一。

2.3气化发电技术特点

生物质气化发电技术是生物质能利用中有别于其他利用技术的一种独特方式，具有3个特点：

(1)技术有充分的灵活性：生物质气化发电可用内燃机，也可用燃气轮机，甚至结合余热锅炉和蒸汽发电系统，所以生物质气化发电可以根据规模的大小选用合适的发电设备，保证在任何规模下都有合理的发电效率。这一技术的灵活性能很好地满足生物质分散利用的特点。

(2)具有较好的洁净性：生物质本身属可再
生能源，可以有效地减少CO_2、SO_2
等有害气体的排放。而气化过程一般温度较低(约在700900bC)，NO_x的生成量很少，所以能有效控制NO_x的排放。

(3)经济性：生物质气化发电的灵活性，可以保证在小规模下有较好的经济性，同时，燃气发电过程简单，设备紧凑，也使生物质气化发电技术，比其他可再生能源发电技术投资更小。

综上所述，生物质气化发电技术是所有可再生能源技术中最经济的发电技术，综合的发电成本已接近小型常规能源的发电水平。

3生物质气化发电的经济性评估

根据我国目前的经济环境和能源价格情况，以华南地区主要能源价格为例，电力为138.5元/GJ；柴油或LPG为450元/GJ；优质煤为14.0元/GJ；劣质煤为10元/GJ；稻草为6.5元/GJ；谷壳为6元/GJ；木屑为6元/GJ。

可以对几种典型的生物质气化技术的
经济性指标进行估算，结果如表2所示[3]
。从表2中可见，农村气化供气的经济性较差，特别是500户以下供气项目，单纯从经济角度考虑是不可行的。而在电力紧张的地区，如果电价达到138.5元/GJ，即0.5元/(kW#h)，生物质气化发电项目都有较好的经济性，特别对于1MW以上的项目，经济性更好。

表 2　典型生物质气化技术的经济性指标

项目类型	气化燃烧（代煤）	小型供气（200户）	大型供气（1000户）	小型发电（0.2 MW）	中型发电（1 MW）
发电规模/MW	1.0	0.18	0.8	0.2	1.0
项目投资/元#kW⁻¹	2.60	25.22	15.06	35.00	30.00
投资成本/元#kJ⁻¹	1.2	17.5	10.5	32.4	11.1
运行成本/元#kJ⁻¹	0.32	1.30	0.7	3.0	2.2
获利能力/元#kJ⁻¹	4.47	23.2	30.8	53.1	89.9
投资回收期/a	2.12	8.61	5.04	2.71	1.65

从影响生物质项目经济性的角度分析，对生物质项目影响最大的因素是能源价格、投资大小和设备运行时间。农村气化供气经济性较差的主要问题是投资较大，规模太小。生物质气化发电的投资也比较高，但由于产出的能源形式，电力价格比较高，所以经济性仍然较好。

从实际应用情况看，很多生物质气化项目的用户虽然单从经济角度考虑是不可行的，但由于生物质利用项目可以为用户解决很多相关的问题，如可为缺电、缺燃料的地区提供电力和洁净燃料，或可为用户解决废料堆放和污染问题(如碾米厂、木材厂等)，所以很多生物质项目虽然投资回收期小于或等于5年，其中主要项目的获利能力小于或等于0，仍为社会所接受，如生物质气化供气项目和小型发电项目等。

4生物质气化发电的社会效益

(1)生物质气化发电技术推广应用的社会效益是明显的

首先从能源利用角度上看，达到了开源节流的目的。它可以充分利用能量品位较低的农业生物质，减少能量品位较高的煤、油等的消耗，从而减少目前/煤荒0、/油荒0带来的能源资源短缺的压力。例如：一个1.5MW的生物质气化发电设备，每年可以减少柴油耗量超过2000t。

其次，从电力供应的角度看，可以缓解局部地区日趋紧张的矛盾，对缺少煤炭资源的农村意义更为重大。以南方某个农业县为例，如果每年粮食产量达35万t，则农业生产的生物质有40万t以上，只要1/4的生物质能集中起来发电，即

可满足一个15kW的气化发电厂使用。最后，从环境角度看，它能有效地减少空气污染。生物质属洁净可再生能源，与煤、油
相比，其使用过程
对空气的污染极少，而且由于减少农业生物质在地里焚烧，可以进一步减少CO_2等有害气体的释放。

(2)利用农业生物质发电具有显著的间接经济效益

它能极大地提高农业的产出，增加农民的收入，从而提高农业的经济效益。以往，农业生物质作为一种生产的副产物，利用价值不大。现在进行气化发电，具有较高的使用价值，农业的经济效益自然提高。以水稻为例，假如每亩地(1亩=666.6m2)每年产量为800kg，其稻草、稻壳约为800kg。以往这些生物质价格很低，现收购用于发电，以100元/t计，则每666.6m^2
增收0.12元，约相当于原来稻谷收入的15%。也就是说，每单位耕地的产出可以增加约15%，这是相当可观的数字。另一方面，农民所增加的收入也反映在气化发电厂的成本核算上，如15MW的生物质气化发电厂，每年用于收购农业生物质的成本约1000万元，这些基本为农民所得。总的来说，利用农业生物质进行气化发电，对农村的建设及农业现代化有着较大的意义[4]。

5生物质气化发电的应用前景

虽然新能源的发展面临成本、政策立法和公众意识等多方面的障碍，但在全球变暖、油价上涨等因素的推动下，新能源在替代传统能源方面有着巨大潜力。随着技术进步，新能源在未来不长的时间内就可能明显改变世界能源格局。

有专家认为，生物质能源将成为未来持续能源的重要组成部分，到2015年，全球总能耗将有40%来自生物质能源。目前，世界各国在调整本国能源发展战略中，已把高效利用生物质能摆在技术开发的一个重要地位，作为能源利用的重要课题。目前欧洲生物质能约占总能源消费量的2%，预计15年后将达到15%。制定的计划要求到2020年，生物质燃料将代替20%的石化燃料。荷兰要求到2010年生物质发电量达1.5TW#h，比2000年提高10倍。美国在生物质发电方面发展较快，目前已装机9GW，并以每年7%的速度增加，预计到2010年计划总装机容量达到6.1GW，到2020年将达到200TW[5]。同时，其他国家也制定了相应得生物质能开发研究计划，如日本的新阳光计划，巴西的乙醇能源计划等。

我国即将出台5可再生能源开发利用法6，以加快新能源开发领域的步伐，缓解已经出现的能源紧张问题。可以预期，未来几十年内，生物质气化发电将成为我国发展最快的新型产业之一。

参考文献：

[1]中国社会科学院环境与发展研究中心.中国环境与发展评论[M].北京：文献出版社.2004.

[2]马隆龙，吴创之，孙立.生物质气化技术及其应用[M].北京：化学工业出版社.2003.

[3]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.

[4]吴创之，罗曾凡，阴秀丽.农村生物质气化发电技术应用分析[J].新能源.1995，17(5)：511.

[5]朱锡锋.生物质热解原理与技术[J].中国科学技术大学.2004.

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/85064.html