

浅谈生物质气化在发电技术应用

黄剑光

(哈尔滨锅炉厂有限责任公司, 哈尔滨150046)

摘要：随着经济的发展，世界各国电力需求猛增，电力供应日益紧张，在这种环境下，通过气化发电技术，把生物质能转化为电能，既能大规模处理生物质废料，又能提供电力，具有明显的社会和经济效益。介绍了生物质气化发电技术的国内外发展现状，着重讲述了生物质气化发电技术的原理、特点和分类，以及各类生物质气化发电技术的特点，分析了生物质气化发电技术的社会效益及应用前景。指出在我国这样一个农业大国应该大力发展生物质气化发电技术。

1前言

生物质发电技术在发达国家已受到广泛重视。奥地利、丹麦、芬兰、法国、挪威、瑞典和美国等国家的生物质能在总能源消耗中所占的比例增加相当迅速。例如：奥地利成功地推行了建立燃烧木材剩余物的区域供电站计划，生物质能在总能耗中的比例由原来大约2%~3%激增到1999年的10%，到20世纪末已增加到20%以上。到目前为止，该国已拥有装机容量为1MW~2MW的区域供热站及供电站80~90座。瑞典和丹麦正在实施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，以大大提高其转换效率。

1991年，瑞典地区供热和热电联产所消耗的燃料26%是生物质。美国在利用生物质能发电方面处于世界领先地位，1992年，利用生物质发电的电站已有1000家，发电装机容量为650万kW，年发电42亿度。目前，国际上有很多先进国家开展提高生物质气化发电效率这方面研究，如美国Battelle(63MW)和夏威夷(6MW)项目，欧洲英国(8MW)和芬兰(6MW)的示范工程等。但由于焦油处理技术与燃气轮机改造技术难度很高，仍存在很多问题，系统尚未成熟，造价也很高，限制了其应用推广。以意大利12MW的BPIGCC示范项目为例，发电效率约为31.7%，但建设成本高达2.5万元/kW，发电成本约1.2元/kWh，实用性能很差。

中国有着良好的生物质气化发电基础，在20世纪60年代就开发了60kW的谷壳气化发电系统，目前160kW和200kW的生物质气化发电设备在我国已得到小规模应用，显示出一定的经济效益。“九五”期间进行了“1MW生物质气化发电系统”的研究，旨在开发适合中国国情的中型生物质气化发电技术。1MW的生物质气化发电系统已于1998年10月建成，2000年7月通过科学院鉴定后投入小批量使用。该系统在很多方面比200kW气化发电有了改善，但由于受气化效率与气轮机效率的限制，简单的气化-

气轮机发电循环系统效率很难高于18%，所以单位电量的生物质消耗量一般大于1.3千克(干)P度。

“十五”期间，国家863计划在1MW的生物质气化发电系统的基础上，研制开发出4~6MW的生物质气化燃气-蒸汽联合循环发电系统，建成了相应的示范工程，燃气发电机组单机功率达500kW，系统效率也提高到28%，为生物质气化发电技术的产业化奠定了很好的基础。

2生物质气化发电原理及发电过程

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三个方面：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。

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，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。

3生物质气化发电技术特征

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，具有三个特点：(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CO₂、SO₂

等有害气体的排放。而气化过程一般温度较低(约

在700~900e)，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。

4生物质气化发电技术主要类别

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。固定床气化包括上吸式气化、下吸式气化和开心式气化三种，现在这三种形式的气化发电系统都有代表性的产品。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三种。这三种气化发电工艺目前都有研究，其中研究和应用最多的是循环流化床气化发电系统。

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，见图1。

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
小型系统 功率< 200kW	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
中型系统功率 500~ 3000kW	常压流 化床气化	内燃机	大中型企业自备 电站小型上网电站
大型系统 功率> 3000kW	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



图 1 生物质气化发电方式

4.1低热值燃气内燃机发电技术

以简单的燃气内燃机组为主,可单独燃用低热值燃气,也可以燃气、油两用。其特点是:设备紧凑,系统简单、对燃气质量要求低。

生物质燃气的特点是热值低($4\sim 6\text{MJNm}^{-3}$)

)、杂质含量高,所以生物质燃气发电技术虽然与天然气发电技术、煤气发电技术的原理一样,但它有更多的独特性,对发电设备的要求也与其他燃气发电设备有较大的差别。生物质燃气内燃机必须解决以下问题:

(1)生物质燃气热值低,内燃机出力大大降低,为了保证相同的出力,内燃机的进料系统和燃烧系统、压缩比等必须做较大改动。一般生物质燃气热值只是天然气的1P5~1P6,相同规格的燃气机在燃用生物质燃气时出力将降低1P3左右(相对于柴油将降低50%左右),如果是增压的燃气内燃机,出力降低将更大,各系统的改动将更加复杂。

(2)含 H_2

量高可能引起的爆燃问题:由于 H_2 的着火速度比

其他燃气快,在 H_2

含量太高时,燃气内燃机容易引起点火时间不规则,从而引起爆燃。生物质燃气的氢气含量差别很大,流化床一般在10%左右,而固定床有时将高于15%。通过大量的试验表明,当生物质燃气中 H_2 含量高于18%时,爆燃的问题将较严重,所以为安全起见一般生物质燃气内燃机要求燃气中 H_2 含量<15%。

(3)焦油及含灰量的影响:虽然生物质燃气经过了严格的净化,但仍有一定的焦油和灰(一般为几十ppm)。焦油会引起点火系统失灵,燃烧后积炭会增加磨损,而含灰量太高也会增加设备磨损,严重时会引起拉缸。所以一般生物质燃气内燃机机组的配件损耗和润滑油消耗比其他燃气内燃机都会成倍增加。

(4)排烟温度过高及效率过低问题:由于低热值燃气燃烧速度比其他燃料慢,低热值燃气内燃机的排烟温度比其他内燃机明显偏高。这就使设备材料容易老化而系统效率有明显降低。

由于上述难题,我国生物质燃气发电机组的产品开发很少,我国目前只有200kW的机组,更大的机组还没有定型产品,只正在开发之中。国外这方面的产品也很少,只有低热值与油共烧的双燃料机组,大型的机组和单燃料生物质燃气机都是从天然气机组改装而来,所以产品价格很高,是一般国外柴油机组价格的1~2倍,更是国内同类生物质燃气发电机组的几倍。所以经济可靠的单燃料生物质燃气内燃机组的开发研究是发展中小型生物质气化发电系统的主要内容之一。

4.2 燃气轮机发电技术

燃气轮机是最常见的发电设备之一。国内外的燃气轮机技术已发展非常成熟,目前应用最多的是作为航空动力装置。作为发电用途的燃气技术,一般规模在几MW以上,小于3MW的燃气发电设备应用较少,而最大的已达几百MW。燃气轮机最常见的燃料是石油或天然气,其他燃料的气轮机很少见。我国的燃气轮机发电技术与国内外差别较大,特别是在设备的规模和效率上与国外产品有明显的差距。

生物质气化发电所需要的燃气轮机很独特。首先生物质燃气是低热值燃气,它的燃烧温度与发电效率与天然气等相比明显偏低,而且由于燃气体积较大,压缩困难,从而进一步降低了系统发电效率;其次,生物质燃气杂质偏高,特别是有碱金属等腐蚀成份,对燃气轮机的转速和材料都有更严格的要求。最后,因为生物质较分散,生物质气化发电规模不可能很大,所以所需的燃气轮机也较小,一般几MW左右,小型燃气轮机设备的效率较低,而单位造价较高,这几方面使燃气轮机应用于生物质气化发电系统更为困难。表2表示了典型燃气内燃机对燃料的要求,实际上有的要求将比表中的指标严格得多,有的杂质在长期运行中要求比表中指标低10倍以上。

在国内外的研究中,影响最大的杂质主要是碱金属和硫化物,在生物质中硫的含量很少,但即使很少量的硫,例如含硫量约0.1%时,燃气中的硫化物也可能高达100ppm,这对燃气轮机设备的影响是明显的,但生物质的过程与生物质中碱金属的析出和硫化物等杂质的排放之间的关系,直到现在仍不是很清楚,也是目前生物质研究的主要内容之一。

表 2 燃气轮机对燃气的要求

燃气成份及杂质		燃气轮机可接受的范围
最低气体低热值		$> 4 - 6 \text{ MJ/NM}^3$
最低气体中氢含量		$> 10 - 20\%$
碱金属最高含量		$< 20 - 1000 \text{ ppb}$
最高的燃气温度		$< 450 - 600 \text{ e}$
焦油		在进口温度下必须全为相
最大的颗粒浓度 (灰、炭等)	$> 20 \mu$	$< 0.1 \text{ ppm}$
	$10 - 20 \mu$	$< 0.1 \text{ ppm}$
	$4 - 10 \mu$	$< 10 \text{ ppm}$
NH_3		没限制
HCl		0.5 ppm
SH 或 SO_2		1 ppm
N_2		没限制
总的	总的金属 碱金属+ 硫	$< 1 \text{ ppm}$ $< 0.1 \text{ ppm}$

从表2可以看出，燃气轮机对大部分杂质的要求极为苛刻，但对焦油的要求不严，这是因为假设燃气轮机进口温度在450~600e，此时焦油大部分以气态存在，但是，如果考虑到燃气需降温后再加压，此时对焦油的要求也很严格，大约在50ppm以下，所以总的来说，一般生物质气化净化过程很难满足燃气轮机的要求，必须针对具体原料的特性进行专门的设计，而燃气轮机也必须经过专门的改造，以适应生物质气化发电系统的特殊要求。目前国内外仍没有适用于生物质气化发电系统的通用技术和设备，极少的几个示范工程都是由专门的研究部门或厂家根据项目的要求进行改造和订造的，造价非常高，所以燃气轮机技术是制约生物质气化发电技术大型化发展的主要因素之一。

4.3 燃气蒸汽循环联合发电技术

不管是燃气内燃机，还是燃气轮机，发电后排放的尾气温度都在500~600e之间(如果发电设备带空气增气增压系统，尾气温都一般在450~500e之间)，从能量利用的角度，这部分尾气仍含有大量可回收的可用能量。所以在燃气发电设备后增加余热回收装置(如余热锅炉等)，是大部分燃气发电系统提高系统效率的有效途径。在生物质气化发电系统中，除了发电设备尾气有大量余热外，生物质气化炉出口的燃气温度也很高(达700~800e左右)，所以把这部分气化显热和燃气发电设备的余热结合起来，利用余热锅炉和过热器产生蒸汽，再利用蒸汽循环进行发电，是大部分大型生物质气化发电系统采用的气化发电工艺。由于该工艺与传统的煤IGCC系统相同，所以一般称生物质整体气化联合循环发电系统(BPIGCC)。

传统的BPIGCC技术包括生物质气化、气体净化、燃气轮机发电及蒸汽轮机发电。由于生物质燃气热值低(约1200kcalPm³)，

气化炉出口气体温度较高(800e以上)，要使BPIGCC具有较高的效率，必须具备两个条件：一是燃气进入燃气轮机之前不能降温，二是燃气必须是高压的。这就要求系统必须采用生物质高压气化和燃气高温净化两种技术才能使BPIGCC的总体效率达到较高水平(40%)。否则，如果采用一般的常压气化和燃气降温净化，由于气化效率和带压缩的燃

气轮机效率都较低, 气体发电的整体效率一般都低于35%。

由蒸汽轮机发电的效率在100MW以上才较高, 所以小型的蒸汽轮机发电系统的经济性较差。生物质气化发电系统由于原料供应问题, 发电规模很难高于100MW, 目前国际上正在建设的BPGCC示范项目大部分在10MW左右, 所以总的系统效率远比煤的IGCC系统为低。即使这样, 大部分生物质的BPGCC项目的效率都在35%以上。比一般简单的生物质气化)内燃机发电系统高出了近1倍, 但也是由于规模的原因, 目前国外的BPGCC系统几乎全部采用专门改造的燃气轮机设备。

从理论上讲, 在中小型气化发电系统中, 只要增加的余热回收系统投资合理, 综合考虑原料和发电的成本可行, 增加蒸汽循环系统仍然是提高系统效率的有效办法。但由于在发达国家由于生物质气化发电技术的经济性较差, 目前仍未真正进入市场, 所以目前中小型气化发电系统结合蒸汽循环的方案仍未有实施的先例, 有待于今后进一步研究与探索。

总的来说, 生物质气化发电有两种基本的形式, 一是采用内燃机, 二是采用燃气轮机, 为了提高系统效率, 可以考虑同时采用蒸汽联合循环发电系统。燃气内燃机与燃气轮机的选用与比较, 主要是根据气化发电系统规模来确定的, 虽然两者之间有明显的界限, 但在国际上, 传统观点认为燃气内燃机比较适合于5~10Mwe以下的气化发电系统, 燃气轮机比较适合于10Mwe~20Mwe的常压气化发电系统, 但超过20Mwe的气化发电系统除了必须采用燃气轮机外, 还必须采用高压气化技术。一般来说采用燃气轮机的气化发电系统都带有蒸汽联合循环, 效率有明显提高, 所以在大规模下燃气轮机具有更明显的优势。在小规模下, 由于燃气内燃机具有体积小、效率高、容易维护的优点, 特别是它对燃气的质量要求技术低, 允许杂质的含量较高(焦油可高于30ppm), 所以它的用途更广泛。

5 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”、“油荒”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1P4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CO₂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P

t计, 则每666.6m²

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。

6 生物质气化发电的应用前景

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0.9GW, 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20.0TW。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可再生资源开发利用法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。

7 结论

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。

我国是一个农业大国，生物质资源非常丰富，大力发展生物质气化发电技术是解决我国能源短缺的有效办法，符合我国国情，应该积极倡导。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，具有广泛的发展前景。

参考文献

- [1]阳永富，申青连，段继红，等.生物质气化发电技术[J].内燃机与动力装置，2006，(4)：67-70.
- [2]宋鸿伟，郭民臣.生物质气化发电技术发展状况的综述[J].现代电力，2003，20(5)：10-16.
- [3]米铁，唐汝江，陈汉平，等.生物质气化技术比较及其气化发电技术研究进展[J].能源工程，2004，(5)：33-37.
- [4]吴创之，郑舜鹏，阴秀丽，陈勇，等.MW级生物质气化发电技术[J].全国清洁能源技术研讨会暨成果展示会文集，北京，1999：314-316.
- [5]刘宝亮，蒋剑春.中国生物质气化发电技术研究开发进展[J].生物质化学工程，2006，40(4)：47-52.
- [6]马隆龙，吴创之.生物质气化技术及其应用[M].第一版.北京：化学工业出版社，2003：177-195.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/98374.html>