

# 林木生物质原料发电供热技术路线初步研究

国家林业局能源办公室 吕文，北京林业大学 张彩虹 张大红 俞国胜 袁湘月 张兰 王莹

国家林业局规划院 王国胜，东北电力设计研究院 于国续，北京园林山川生物能源科技公司 刘金亮

## 1. 国内外林木生物质发电现状

美国在生物质发电生产方面处于领先地位。美国还重视木质能源在林产品工业中的应用，1980年，美国14家最大的林产品公司利用木质燃料提供了自身所需要的70%的能量。瑞典1997年颁布了《可持续发展的能源供应法》，对石油、煤的消费苛以重税，使废木材作为燃料发电的成本仅为煤的1/2以下，有效地推动了生物质发电的发展，生物质能发电到2000年已达到19%。林木和秸秆生物质热电联产在丹麦应用相当成熟。近10年来，丹麦新建设的热电联产项目都是以生物质为燃料，同时，还将过去许多燃煤供热厂改为了燃烧生物质的热电联产项目。德国对生物质利用技术也非常重视，在生物质热电联产应用方面也很普遍。

在我国，林木生物质发电还处于研究开发阶段。“九五”期间进行了1兆瓦的生物质气化发电系统研究，旨在开发适合中国国情的中型生物质气化发电技术。1兆瓦的生物质气化发电系统已于1998年10月建成，采用一炉多机的形式，即5台200千瓦发电机组并联工作，2000年7月通过中科院鉴定。由于受气化效率与内燃机效率的限制，简单的气化——内燃机发电循环系统效率低于18%，单位电量的生物质消耗量一般每千瓦小时大于1.2千克。目前，国内外主要生物质发电工艺分三类：直接燃烧发电、生物质与煤混合燃烧发电和气化发电。直接燃烧发电和气化发电是目前生物质能转化为电力的两种主要方式，全国在建和正在做可研的生物质发电项目有25个，但多以秸秆为主。其技术路线有以下特点。（见表1）

表1 直燃发电与气化发电技术路线对比分析

发电方式	技术原理	转化系统	规模大小	净效率	优点	缺点
直燃	利用锅炉直接燃烧后产生蒸气发电	CHP	100kW e~1M W	60%~90% (总)	技术成熟、规模较大、原料预处理简单、设备较可靠、运行成本较低	小规模、效率低、原料较单一、投资较大
			1~10M W	80%~100% (总)		
		直立式系统	20~100M W	20%~40% (电)		
		共燃烧系统	5~20M W	30%~40% (电)		
气化	气化后利用燃气轮机或内燃机发电	CHP			污染排放较低、小规模效率较高、规模灵活、投资较少	设备较复杂、大规模的发电系统仍未成熟、设备维护成本较高
		柴油机	100kW ~1M W	15%~25% (电)		
		气轮机	1~10M W e	25%~30% (电)		
		直立式 BE/CC	30~100M W	40%~55% (电)		

## 2. 木质能源林资源培育、收集、处理技术路线

原料来源的合理性、可靠性、使用的经济性是保证应用林木生物质能源原料发电供热实现持续生产经营关键因素。因此，需要研究木质能源林培育、收割、收集、整理、处理、运输、储藏技术进行系统研究。

### 1) 木质能源林培育

我国地域广阔，自然条件复杂多样，在能源林发展和培育过程中要获得最大的效益，各地根据不同立地条件、适生树种和采取适合于本地区的能源林造林经营方式。自1995年，原林业部确定了“森林能源工程”新思路以来，中国能源林建设得到长足发展，并已总结多种发展模式。归纳大致有五种。a.纯能源林经营型、b.用材和能源经营型、c.能源林和经济林经营型、d.能源林和牧草经营型、e.乔木灌丛经营型（略）。

### 2) 木质能源林采收

由于林木作业的种类繁多，作业的地点地形复杂，作业面积零散等特点，给林木收割机械提出了更高的要求。国外的小型收割机器是比较轻便携带、操纵灵活、安全可靠，刀具使用较好的材料，因此刀具坚固耐用，不需要经常更换。见图一。

对于大面积能源林采收，国外多采用拖拉机悬挂式。而且可以进行直接粉碎、削片或打捆等联合收割。如瑞典的机械联合收割柳树，可以进行大规模的联合收割作业，但价格十分昂贵。我国现有的林木资源，分布比较分散，主要是小规模农户种植和立地条件很差的西部沙地灌木林。所以在选择收割机时，对农户目前主要以中小型灌木收割机为主，轻便携带，操作灵活；在西部立地条件相对好的地方，可以采用拖拉机悬挂式的中型收割机，收割完毕后集中收集。未来，我国将种植大规模的能源林，这就应选择联合收割机械，直接进行粉碎、削片和打捆，这是实现热电联产产业化的保障条件之一。各地收割机械的选用，应根据不同的情况分别选用。

### 3) 木质能源原料收集、整理

由于采伐及加工剩余物分布相对比较分散，收集困难，因此选取设立收购站的方式对这类资源进行收集整理。对于农作物秸秆类已应用的有麦草打捆机、稻草打捆机、牧草打捆机等。用于高秆类农作物秸秆的打捆设备在国内几乎没有，可借鉴国外设备。用于林木生物质打捆作业的设备在国内尚属空白，国外有关该方面的报导也很有限。对林木生物质一般采用削片或粉碎的方式，粉碎后的原材料便于运输和利用。目前，我国打捆机多应用于农业秸秆打捆，秸秆打捆机多为从国外引进技术后加以改造，处理效率约为每小时1吨，打捆效率较低；成捆的密度在每立方米90千克左右，打捆密实度低；多采用麻绳捆扎，打捆不买，麻绳断头率高，影响了打捆速度。（图一）



表 2 主要热经济指标

名称	数值
发电设备利用小时数	6000h/a
供热设备利用小时数	6260h/a
年平均供热标准煤耗率	40.41kg/GJ
年平均发电标准煤耗率	0.143kg/kw·h
全年供热量	8.0×10 <sup>11</sup> kJ(按冬季运行两台机组)
综合厂用电率	12.2%
发电厂用电率	7.38%
年发电量	2×8.05×10 <sup>7</sup> kw·h/a
年供热量	2×3.9×10 <sup>11</sup> kw·h/a
年均全厂热效率	0.458
采暖期热电联产热电比	1.01
全年耗标煤量	2×48029t/a
年耗自然燃料量	2×83900t/a

注：设备指标：锅炉蒸发量为 75t/h，汽轮发电机容量为 12MW，抽汽量 40t/h，抽汽压力 0.204MPa，抽汽温度 160.7℃。

### 4) 木质能源原料处理

生物质可以直接或加工成型后作为蒸汽涡轮发电机组燃料。直接作为燃料的原料处理方式主要有打捆和削片两种方式，而加工成型燃料原料处理方式主要是粉碎。

削片、粉碎主要用于林木生物质和高秆农作物秸秆类原料的处理，所用到的设备主要是各种规格的削片机、粉碎机、揉碎机等。木质原料主要使用削片机，除在木材加工行业使用的大型削片机以外，用于林区抚育整枝剩余物的一般是以拖拉机为动力或自带发动机的可移动式削片机，另外一种是集削片、粉碎于一体的削片粉碎机。加工成型燃料有块状燃料成型和颗粒成型等。原材料进炉前需要根据林木生物质发电项目选择的技术路线进行相应的加工预处理。对于林木发电原材料预处理主要有粉碎处理和加工压缩成型处理。需要根据林木生物质直接燃烧发电、削片燃烧发电、成型木质煤燃烧发电和气化发电不同的技术路线进行相应的加工与处理。

### 3. 林木生物质能源热电联产技术路线示范

生物质在适合其燃烧的特定锅炉中直接燃烧，产生蒸汽驱动汽轮发电机发电和供热技术在国外进入推广应用阶段。

这一技术在我国则刚刚开始尝试。现仅以内蒙古通辽市奈曼旗2×12MW林木生物质热电联产示范项目为案例。其装机规模为2组12兆瓦加1组25兆瓦生物质发电机组组成。工程采用两套12兆瓦抽凝汽轮机配两套每小时75吨燃林木生物质燃烧锅炉。该配套组合解决了生物质锅炉可轮换检修，检修期只影响产量，而不影响部分发电供热。同时，也可根据原料供应充足否、电热需求量来调节机组和锅炉工作时间。

### 4. 中国林木生物质能源热电联产的经济分析

林木生物质热电联产在我国尚无项目级别的实践活动，故而，对其进行的经济分析不具有具体的针对性，只是根据相关的研究，借鉴了国内其他热电联产项目的有关数据，一般性地进行林木生物质热电联产的经济分析。根据我国现有林木生物质资源可利用状况、林木生物质热电联产技术和设备现状，主要分析林木生物质直燃热电联产和气化热电联产两种模式，通过不同的技术路线和发电规模进行比较分析，同时结合秸秆热电联产进行分析比较。另外，林木生物质直燃热电联产模式根据原材料进炉前预加工处理方式不同又可分为林木生物质直接燃烧热电联产、削片燃烧热电联产和成型木质煤燃烧热电联产等不同模式。本研究拟选取分析技术模式及规模如下：6兆瓦林木生物质气化热电联产、6兆瓦林木生物质直燃热电联产、12兆瓦林木生物质直燃热电联产、24兆瓦林木生物质直燃热电联产、48兆瓦林木生物质直燃热电联产、6兆瓦秸秆气化热电联产和24兆瓦秸秆直燃热电联产。

林木生物质热电联产在各种模式下单位发电成本介于每千瓦小时0.502~0.688元之间，这里对并网电价分别取每千瓦小时0.70元和每千瓦小时0.60元时分析各种模式热电联产项目的经济效益，并结合参数值等因素得到如下分析比较表：（见表3）

表3 林木生物质热电联产项目经济评价表

	单位	林木质热电联产					秸秆热电联产		参数值	
		6M W 气化	6M W 直燃	12M W 直燃	24M W 直燃	48M W 直燃	6M W 气化	24M W 直燃		
发电成本	元/kwh	0.585	0.688	0.631	0.619	0.605	0.502	0.549	0.330	
并网电 价=0.70 元/kwh	净现值 (NPV)	万元	3683	1050	3291	9649	26478	5728	15836	0
	全部投资内部收益率	%	24.34	14.04	13.38	14.96	17.09	31.95	17.36	10
	投资回收期	年	5.96	8.53	8.73	8.12	7.44	5.02	7.36	10
并网电 价=0.60 元/kwh	净现值 (NPV)	万元	1327	-1306	-1783	-499	6182	3373	5688	0
	全部投资内部收益率	%	15.61	4.16	8.02	9.72	11.77	23.70	12.80	10
	投资回收期	年	7.97	15.88	11.79	10.59	9.46	6.05	8.97	10

\* 2005年全国范围内电力均价为0.310元/kwh，考虑到价格指数因素，这里初步估算传统电力行业平均价格为0.330元/kwh。

通过系统分析、研究，我们得出如下结论：

第一，在并网电价为每千瓦小时0.70元时，各类项目经济指标均优于基准参数值，表明在并网电价为每千瓦小时0.70元时，一般林木生物质热电联产项目的经济收益均高于社会平均水平，具有一定经济合理性；而在并网电价取每千瓦小时0.60元时，一部分林木生物质热电联产项目的经济效益指标处于基准水平之下，如6MW林木质直燃、12兆瓦林木质直燃和24MW林木质直燃，

这说明当国家并网电价政策规定价格在每千瓦小时0.6元时，投资这些类型的热电联产项目在经济上是不可行的。

因此，在林木生物质热电联产产业发展初期，通过国家扶持将林木生物质并网电价定于每千瓦时0.6元是非常必要的。

第二，从单位发电成本与参考值的比较中可以得出，林木和秸秆生物质发电单位成本高于传统化石燃料发电成本。传统化石燃料发电在我国发展已经相当成熟，生产技术和设备研究都处于先进水平，生产效率高，生产规模已达到一定水平，规模效益日益凸现，这些条件促成化石燃料发电成本相对较低。而生物质发电项目的研究尚处于初级阶段，尤其我国在这方面的研究起步较晚，生物质发电技术和设备研究还很不成熟，锅炉及前处理设备需从国外引进，设备价格昂贵，增加了生物质发电项目的投资成本。另外，生物质发电的生产规模和发电效率受到技术水平和资源分布的制约，处于较低水平。生物质发电项目与传统化石燃料发电相比投资大而规模小，这些使得目前林木生物质热电联产项目尚不具备竞争优势。从林木生物质热电联产项目的比较分析结果来看，对于林木生物质直燃热电联产项目，随着生产规模的扩大，内部收益率随之升高，规模效益较为明显。如上表所示，在并网价格为每千瓦时0.70元时，12兆瓦直燃项目IRR为13.38%，24兆瓦直燃项目为14.96%，48兆瓦直燃项目为17.09%。另外，当并网价格一旦规定为每千瓦时0.60元时，从经济角度来看，12兆瓦和24兆瓦木质直燃项目不再可行，仅有48兆瓦木质直燃项目仍是可行的。当然，由于林木生物质资源的约束，目前大规模开发大型（48兆瓦以上）木质热电联产项目的条件相对还不成熟。

第三，从小型(<10兆瓦)林木生物质热电联产项目分析结果来看，小规模的气化热电联产项目比直燃热电联产项目在经济上更合理。即使在并网电价为每千瓦时0.60元时，小型林木生物质气化热电联产项目仍可获得较高的内部收益率。对于中型规模(>10兆瓦)的直燃热电联产项目，可采用高参数的发电设备，即使原材料价格相对较高，当并网电价接近每千瓦时0.70元时，此规模下的林木生物质热电联产项目仍可取得合理的经济效益。从表中结果可得出，12兆瓦直燃项目与24兆瓦直燃项目相比，单位成本较高且内部收益率较低，因此，24兆瓦规模热电联产项目经济效益要优于12兆瓦项目。而对于中型规模林木生物质气化热电联产项目，发电设备效率相对较高，发电成本较低，但由于系统复杂，这方面的技术还不太成熟。如意大利12兆瓦的B/IGCC示范项目，发电效率约为31.7%，但建设成本高达每千瓦2.5万元，发电成本约每千瓦时1.2元，实用性仍很差。因此，较大型林木生物质气化发电模式暂不考虑，但是随着气化发电技术的改进，设备投资成本的降低，该类型发电模式有可能成为中型林木生物质热电联产的重要选择。

第四，林木生物质热电联产项目随着生产规模的扩大，内部收益率将随之增大，在大中型生物质热电联产项目开发中，林木生物质热电联产模式具有一定优势。由于我国林木生物质资源丰富，且随着能源林集约化经营，原材料供应规模呈现增长趋势，将为发展大中型林木生物质热电联产项目提供有力保障。但是机械化收割、收集、处理将是确保林木生物质热电联产产业化实现的重要因素之一。

总之，在林木生物质热电联产产业发展初期，自身并不具备经济可行性。只有在获得国家较大的政策支持后，才可能具备一般经济合理性，具有投资潜力；从林木生物质热电联产产业的长期发展趋势来看，随着技术进步和能源林的发展，该类项目将逐渐优于秸秆热电联产和化石能源发电项目而成为我国能源体系的重要组成部分。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/84438.html>