

李蓓蓓,施 威,朱 涛. 山东省生物质资源及利用技术的系统评价[J]. 江苏农业科学,2014,42(12):374-377.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.126

山东省生物质资源及利用技术的系统评价

李蓓蓓^{1,2},施 威²,朱 涛²

(1. 南京信息工程大学中国制造业发展研究院,江苏南京 210044; 2. 南京信息工程大学语言文化学院,江苏南京 210044)

摘要:利用已有统计资料和数据,定量估算了山东省生物质资源的数量,并对生物质利用技术的评价方法进行了探讨。山东生物质蕴藏丰富,可开发潜力巨大,2010 年,山东省生物质总蕴藏量和可利用量分别达 1.15×10^8 tce 和 0.477×10^8 tce,其中,秸秆和林木剩余物所占比例高达 50% 以上,折合 0.24×10^8 t 标准煤以上。从能源、经济和环境(3E)的角度出发,对生物质资源应用技术的系统评价方法进行了研究,以 2 MW 和 6 MW 生物质气化发电技术为例,从经济性角度分析,可考虑适当增加发电规模和提高上网电价以增加经济效益,从环境收益角度分析,2 MW 生物质气化发电技术 1 年的 CDM 项目减排效益为 64.464 万元,6 MW 为 207.296 万元,CDM 机制可以对山东省生物质气化发电技术推广起到良好的促进作用。

关键词:生物质资源;系统评价方法;气化发电;清洁发展机制

中图分类号:TK69 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)12-0374-04

能源短缺和环境危机是制约当今世界经济社会发展的两大主要问题。生物质资源以其可再生、资源丰富、生态环境友好而逐渐成为一种重要的替代能源^[1-2]。我国是农业大国,目前,每年可利用的生物质资源量折合约 7 亿 t 标准煤,针对这一基本国情以及我国油气等化石能源资源短缺的现状,开发和利用生物质资源能够有效缓解能源危机,改善能源结构不合理状况,保护日益恶化的生态环境,对于维护我国能源安全、促进农村和农业可持续发展具有十分重要的意义^[3]。

生物质资源应用技术的系统评价是生物质科学开发利用的关键和基础。对生物质资源利用技术来说,评价内容除了要考虑储量、开采量、生产率以及成本、价格等进行一般资源利用技术评价所考虑的因素以外,更应注重生物质资源开发技术的市场分析和环境收益^[4-6]。目前,对生物质资源利用技术的评价方法比较单一,缺少比较系统的评价指标,更未能形成综合的评价指标体系,因此,有必要根据生物质资源的特性对生物质资源利用技术的系统评价方法进行研究,并建立技术评价的指标体系。

山东省生物质的储量非常丰富,笔者在总结生物质资源现有评价方法的基础上,利用已有统计资料和数据,定量估算了山东省生物质资源的数量,并从能源、经济和环境(3E)的角度出发,对生物质资源应用技术的系统评价方法进行了研究,最后以生物质气化发电技术为例,对以上构建的评价方法进行了实际应用。

1 定量计算山东省生物质资源

生物质资源种类繁多,主要包括农作物秸秆及林木剩余

物、禽畜粪便、工业有机废水、城市垃圾和污泥等几个方面。本研究计算的实物蕴藏量是山东省生物质主要资源的全部理论实物产量的总和,理论可获得量是理论条件下可以获得并转化为有用能的生物质资源数量,数据来源于 2011 年山东省统计年鉴。

1.1 各种生物质资源实物蕴藏量估算

1.1.1 农作物秸秆及林木剩余物资源 山东省是我国玉米、小麦和棉花的主产区之一,2010 年,山东省农作物播种面积 1 081.82 万 hm^2 ,其中玉米播种面积 295.53 万 hm^2 ,小麦播种面积 358.11 万 hm^2 ,棉花播种面积 76.67 万 hm^2 。计算各种农作物秸秆产量的公式如下:

$$CR = \sum_{i=1}^n Q_{ci} r_{ci}$$

式中:CR 为秸秆资源实物蕴藏量; Q_{ci} 为第 i 类农作物的产量; r_{ci} 为第 i 类农作物的谷草比系数,各种农作物谷草比系数见表 1。

表 1 各种农作物的谷草比系数^[7-9]

作物种类	谷草比	作物种类	谷草比
小麦	1.1	甘蔗	0.1
玉米	2.0	甜菜	0.1
水稻	1.0	向日葵	2.0
高粱	2.0	花生	1.5
大豆	1.7	芝麻	2.0
薯类	1.0	胡麻	2.0
棉花	3.0	油菜	3.0
麻类	1.7		

山东省 2010 年用材林面积为 3.61 万 hm^2 ,经济林面积为 3.79 万 hm^2 ,防护林面积为 12.99 万 hm^2 ,木材采伐量 292 万 m^3 ,林木剩余物资源量的估算可以用不同林种的面积、可取薪柴系数以及单位面积产柴量等指标计算得出;也可以通过分类计算薪炭林,林业生产和更新剩余物以及灌木林、竹林等其他林木生物质资源来计算,计算公式如下:

收稿日期:2014-06-14

基金项目:国家自然科学基金(编号:71173116);中国制造业发展研究院开放课题(编号:SK20120200-4);中国气象局气象软科学研究(编号:MC-10)。

作者简介:李蓓蓓(1984—),女,山东淄博人,博士,讲师,研究方向为生物质资源利用。E-mail:libeibei@nuist.edu.cn。

$$FR = \sum_{i=1}^n Q_{fi} r_{fi}$$

式中:FR 为林木剩余物资源实物量;Q_{fi}为第 i 种林木资源量;r_{fi}为第 i 种林木的折算系数(表 2)。根据公式计算山东省秸秆和林业生物质资源总量约为 9 558 万 t。

表 2 林木剩余物资源折算系数^[10-11]

林木种类	折算系数 (%)	林木种类	折算系数 (%)
薪炭林	100	抚育间伐量	8 m ³ /hm ²
采伐剩余物	40	四旁树	100
木材加工剩余物	34.4	竹材加工剩余物	34.4

1.1.2 畜禽粪便 畜禽粪便也是一种重要的生物质资源。山东省现有各类规模以上畜禽养殖场(户)76 万个,省级以上畜禽标准化规模养殖示范场(小区)2 908 个,大牲畜年末存栏 502.39 万头(牛存栏 483.67 万头)、猪年末存栏 2 747.55 万头、家禽年末存栏 5.4 亿只、兔年末存栏 3 472.1 万只。畜禽粪尿排泄量与动物种类、品种、性别、生长期等因素有关,根据各类畜禽每日粪便产生量和畜禽的饲养周期可以估算畜禽粪便排放量,公式如下:

$$D = \sum_{i=1}^n Q_{di} \cdot d_i \cdot m_i = \sum_{i=1}^n Q_{di} \cdot M_i$$

式中:D 为畜禽粪便量;Q_{di}为第 i 类畜禽的数目;d_i为第 i 类畜禽每天粪便的产量;m_i为第 i 类畜禽的饲养周期;M_i为第 i 类畜禽在整个饲养周期内粪便排放总量。

根据公式计算山东省 2010 年畜禽粪便资源的实物量为 9 351 万 t。

1.1.3 工业有机废水、城市垃圾和污泥 工业有机废水可以用于产生沼气。2010 年,山东省废水排放总量约为 43.6 亿 t,其中工业有机废水 20.8 亿 t,主要来自酿酒、纺织、造纸、食品、抗生素、化工等生产企业,以 COD 计算约为 29.5 亿 t。

城市垃圾根据其组成可分为有机垃圾与无机垃圾资源,将城市垃圾直接燃烧可产生热能,或是经过热分解处理制成燃料使用等。污泥主要包括工业废水污泥和市政污泥。2010 年,山东省城市垃圾和污泥总量约 1.5 亿 t。

1.2 折标能源总量

根据以上各类生物质能资源的实物量,乘以相应的折标系数,就可以得到不同种类生物质折合成标准能源的总量。对于秸秆资源能源总量,其计算公式如下:

$$\text{秸秆资源折标能源总量} = \sum_{i=1}^n CR_i \cdot \eta_i$$

式中:CR_i为第 i 类秸秆资源实物量;η_i为折标系数。

林木剩余物资源能源潜力量,畜禽粪便资源能源潜力量,工业有机废水、城市垃圾和污泥资源能源潜力量的计算方法与此相同。不同生物质资源折标系数 η_i 值见表 3。

1.3 理论可利用量

上述计算的生物质资源量只是理论蕴藏量,在此基础上还需要计算理论可利用量,即理论上可以用来进行能源生产的生物质能资源量。例如,秸秆生物质能理论可利用量计算公式如下:

$$\text{秸秆资源能源可利用量} = \sum_{i=1}^n CR_i \cdot \eta_i \cdot \lambda_i$$

式中:λ_i为第 i 种作物秸秆的收集系数。

表 3 不同种类生物质能源的折标系数(η_i)^[12-13]

种类	折标系数	种类	折标系数
麦秆	0.500	杂粮秆	0.500
稻秆	0.429	牛粪	0.471
玉米秆	0.529	猪粪	0.429
豆秆、棉秆	0.543	马粪	0.529
薯类秆	0.486	鸡粪	0.643
糖料秆	0.441	羊驴骡粪	0.529
油料秆	0.529	薪柴	0.571
麻类秆	0.500	生活垃圾	0.143

林木资源能源潜力量、畜禽粪便资源能源潜力量、工业有机废水、城市垃圾和污泥资源能源潜力量的计算方法与此相同。

相关文献报道,秸秆、畜粪、废水和污泥资源的收集系数可近似认为 100%,其中秸秆约 50% 用于能源利用,畜粪 33.3% 用于能源利用,城市废水中约 50% 可用作生产沼气,污泥约 20% 用于厌氧消化和焚烧^[11];林木剩余物的收集系数本研究取其为 40%,其中约 33.3% 用作能源;考虑到目前垃圾收集率仅为 40% 左右,因此垃圾资源的收集系数为 40%。

1.4 山东省生物质资源的能源总量和理论可利用量

根据以上的计算方法和数据,计算理论可利用量见表 4。

表 4 2010 年山东省主要生物质能资源

类型	实物总蕴藏量(10 ⁸ t)	折标能源总量(10 ⁸ tce)	理论可利用量(10 ⁸ tce)	比例 (%)
秸秆和林木剩余物	0.955 8	0.480	0.240	50.31
畜禽粪便	0.935 1	0.450	0.150	31.45
工业有机废水	29.500 0	0.006	0.003	0.63
城市垃圾和污泥总量	1.500 0	0.210	0.084	17.61
合计		1.150	0.477	100

2 山东省生物质应用技术评价方法

2.1 评价方法

2.1.1 能源影响分析 本研究以生物质应用技术对一次能源消费比重和对终端能源消费比重来描述其对山东省能源消费结构的影响。

2.1.2 经济影响 从经济性来看,无论采用何种生物质应用技术,经济收益都是不可或缺的因素。本研究从财务评价的角度出发,通过分析技术的财务内部收益率、投资回收期以及财务净现值等指标来评价生物质能技术的经济性^[14]。

2.1.3 环境影响 生物质应用技术可以减少 CO₂ 等气体的排放,对于保护生态环境,减少温室气体排放具有重要的意义。本研究重点考察了生物质技术的温室气体减排量以及在清洁发展机制(CDM)下通过温室气体减排所取得的经济效益来评价生物质应用技术的环境效益。

2.2 评价指标

2.2.1 能源影响指标 在能源消费的影响上,工厂规模的生物质应用技术会改变能源消费结构,本研究以其对一次能源消费比重和对终端能源消费比重来描述这种结构改变。

2.2.2 经济性指标

2.2.2.1 财务内部收益率(FIRR) 财务内部收益率是指项

目财务净现值为零时的收益率,它反映项目所占资金的盈利率,是考察项目盈利能力的主要动态指标。表达式为:

$$\sum_{t=0}^n (CI - CO)_t (1 + FIRR)^{-t} = 0。$$

式中:CI 为现金流入量;CO 为现金流出量;(CI - CO)_t 表示第 t 年的净现金流量;n 为计算期。在经济评价中,把将求出的财务内部收益率与行业的基准收益率比较,当 FIRR 大于基准收益率时,在财务上是可以考虑接受的。

2.2.2.2 投资回收期(P_i) 投资回收期是指以项目的净收益抵偿全部投资(固定资产投资、投资方向调节税和流动资金)所需要的时间。它是考察项目在财务上的投资回收能力的主要静态评价指标。表达式为:

$$\sum_{t=0}^{P_i} (CI - CO)_t = 0。$$

在经济评价中,求出的投资回收期(P_i)与行业的基准投资回收期比较,当 P_i 小于基准投资回收期时,表明项目投资能在规定的时间内收回。

2.2.2.3 财务净现值(FNPV) 财务净现值是将项目整个计算期内各年的净现金流量,按照某个给定的折现率,折算到计算期期初(第零年)的现值之和,它是考察项目在计算期内盈利能力的动态评价指标。表达式为:

$$FNPV = \sum_{t=0}^n (CI - CO)_t (1 + i_c)^{-t}。$$

式中:i_c 为部门行业的基准收益率。财务净现值≥0 的项目是可以考虑接受的。

2.2.3 环境收益指标

2.2.3.1 温室气体减排量 生物质利用技术的鲜明特色就是减少环境污染和温室气体排放。环境特性的优劣是衡量生物质利用技术的重要因素,计算公式如下^[15]:

$$ER = ER_{\text{coal}} + BE_{\text{生物质}} - PE - L_{\text{生物质}}, (t\text{CO}_2)。$$

式中:ER 为生物质利用技术的 CO₂ 减排量;ER_{coal} 为替代发电量所产生的 CO₂ 排放量;BE_{生物质} 为生物质由于自然腐化或者人工焚烧的排放量;PE 为技术本身的排放量;L_{生物质} 为技术本身泄露的排放量。

2.2.3.2 CDM 项目减排效益 清洁发展机制(clean development mechanism, CDM) 是联合国为了保护全球气候和减少温室气体排放,1997 年通过谈判制定的《京都议定书》中确定的履约机制之一。CDM 允许联合国气候变化框架公约附件 1 所列的发达国家在非附件 1 缔约方(发展国)投资实施温室气体(greenhouse gas, GHG)减排项目并据此获得所产生的经核证的减排量,以便帮助他们履行他们在《京都议定书》中所承诺的约束性 GHG 减排义务。当存在 CDM 的情况下,根据国家发改委规定的温室气体减排量不得低于 9.5 美元/t,按照价格 10 美元/t,1 美元兑换 6.32 元人民币计算,生物质利用技术的 CDM 项目减排效益如下:

$$CDM \text{ 减排收益} = \text{温室气体减排量} \times 63.2 (\text{元})。$$

3 实例分析

选择生物质气化发电技术作为研究对象,利用上述评价方法对该技术在山东省的应用进行系统评价。目前,我国生物质气化发电规模以中小型为主,MW 级的循环流化床气化发电系统已在我国南方的许多省市得到推广应用。本研究选取 2 MW 和 6 MW 气化发电系统作为具体分析案例,2 MW 采用简单气化 - 内燃机发电系统,6 MW 采用高效的内燃机 - 蒸汽轮机联合循环发电系统,对其进行系统评价。

3.1 能源影响评价

从一次能源消费比重和对终端能源消费比重来说,生物质气化发电技术是清洁能源技术,社会消费生物质表明该技术提升了清洁能源消费的比重,相对于国民经济中能源消费的总量,目前,来源于生物质气化的发电量影响是存在的,但是非常小。

3.2 经济性评价

首先对生物质气化发电技术进行成本分析,结合相关文献,生物质气化发电成本核算见表 5。

根据表 5 数据,并设定技术运行时间为 15 年,上网电价为 0.75 元/(kW · h),企业所得税率为 15%,基准收益率为 6%(火力发电行业基准收益率),计算时假定每年的净现金流量不变,根据公式,计算经济性指标见表 6。

表 5 生物质气化发电成本核算^[16]

项目		2 MW	6 MW	计算依据		
				项目	2 MW	6 MW
1. 投资总额(万元)		1 000	3 900	单位投资(元/kW)	5 000	6 500
2. 生产能力	生产量(万 kW · h/年)	1 200	3 900	发电时间(h/年)	6 000	6 500
	损耗率(%)	10	10			
	销售量(万 kW · h/年)	1 080	3 510			
3. 折旧	年折旧费用(万元/年)	56.67	221.00	折旧年限(年)	15	15
				年折旧率(%)	6.67	6.67
4. 修理费	年修理费用(万元/年)	17.0	66.3			
5. 运行费用合计(万元/年)		145.96	343.20			
6. 燃料费用	生物质用量(万 t/年)	1.62	4.29	干原料耗量[kg/(kW · h)]	1.35	1.10
	生物质单价(元/t)	250	250			
7. 成本费用合计(万元/年)		624.63	1 703.00			

从表 6 可以看出,6 MW 生物质气化发电项目的经济性明显高于 2 MW 生物质气化发电项目,适当扩大发电规模可

以有效提高技术的经济性。在计算过程中发现生物质单价和企业所得税率以及上网电价对于经济性评价影响显著,从经

经济性角度分析,山东省上网电价相对较低,但生物质气化发电属于可再生能源发电技术,鉴于国家对可再生能源发电技术的鼓励,正在酝酿对上网电价的补贴政策,可考虑提高上网电价以增加经济效益。

表 6 生物质气化发电经济性评价

项目	财务内部收益率 (%)	投资回收期 (年)	财务净现值 (万元)
2 MW	—	15.66	-409.52
6 MW	13.75	7.29	1 042.61

3.3 环境收益评价

根据公式首先计算生物质气化发电技术的温室气体减排量,以 2 MW 为例,6 MW 的计算与此相同。

第一步:计算 ER_{coal}

ER_{coal} 用以下公式计算: $ER_{\text{coal}} = EG \cdot EF_{\text{CO}_2}$ 。式中: EG 为生物质发电的净增发电量,根据表 5 的数值为 $10\ 800\ \text{MW} \cdot \text{h}$, EF_{CO_2} 为替代电的 CO_2 排放因子,本项目活动采用中国指定国家管理机构 DNA 公布的采用 ACM0002 计算出来的官方排放因子 $0.864\ 0\ \text{t CO}_2/(\text{MW} \cdot \text{h})$, 计算 ER_{coal} 为 $9331.2\ \text{t CO}_2$ 。

第二步:计算 $BE_{\text{生物质}}$

$BE_{\text{生物质}}$ 用以下公式计算: $BE_{\text{生物质}} = GWP_{\text{CH}_4} \cdot BF \cdot EF_{\text{燃烧,CH}_4}$ 。式中: GWP_{CH_4} 为在承诺期中甲烷对全球变暖的影响值 $21\ \text{t CO}_2/\text{t CH}_4$, BF 为生物质用量 $1.62\ \text{万 t}$, $EF_{\text{燃烧,CH}_4}$ 表示生物质在无控制燃烧下 CH_4 排放因子,建议值为 $0.002\ 7\ \text{t CH}_4/\text{t}$, 最后计算 $BE_{\text{生物质}}$ 为 $918.54\ \text{t CO}_2$ 。

第三步:计算 PE 和 $L_{\text{生物质}}$

由于采用生物质气化发电技术,整个过程不需要化石燃料,技术每年消耗生物质为 $1.62\ \text{万 t}$, 用 1 辆 $15\ \text{t}$ 卡车在 $50\ \text{km}$ 的范围内,平均来回运输里程为 $60\ \text{km}$, 全年的里程为 $64\ 800\ \text{km}$ 。根据 IPCC 推荐的运输过程中 CO_2 的排放系数为 $1\ 097\ \text{g/km}$, 计算运输过程中每年 CO_2 排放量 (PE) 为 $71.09\ \text{t}$ 。生物质气化的过程中产生的 CH_4 气体被用作发电,所以不存在 CH_4 的排放,即 $L_{\text{生物质}}$ 为零。

最后计算 2 MW 生物质气化发电技术 1 年的温室气体减排量为 $1.02\ \text{万 t}$, CDM 项目减排效益为 $64.464\ \text{万元}$, 6 MW 的环境收益见表 7。

表 7 生物质气化发电环境收益

项目	温室气体 减排量 (万 t)	CDM 项目 减排收益 (万元)	财务内部 收益率(%) (含 CDM 收益)	投资回收期 (年)(含 CDM 收益)	财务净现值 (万元)(含 CDM 收益)
2 MW	1.020	64.464	9.250	7.790	186.450
6 MW	3.280	207.296	17.520	5.260	2 959.060

从表 7 可以看出,生物质气化发电技术是环境友好型技术,但由于投资成本高,缺乏经济竞争力,难以普及开展,通过 CDM 机制带来的经济竞争力,有利该技术在山东省广大农村地区普遍推广。

4 结论

山东省生物质能蕴藏丰富,可开发潜力巨大。2010 年,山东省生物质总蕴藏量和可利用量分别达 $1.15 \times 10^8\ \text{tce}$ 和 $0.477 \times 10^8\ \text{tce}$, 其中,秸秆和林业生物质所占比例 50% 以上,折合 $0.24 \times 10^8\ \text{t}$ 标准煤以上。

在总结生物质资源现有评价方法的基础上,从能源、经济和环境(3E)的角度出发,对生物质资源应用技术的系统评价方法进行了研究。以 2 MW 和 6 MW 生物质气化发电技术为例,从经济角度分析,在山东省可考虑适当增加发电规模和提高上网电价以增加技术的经济效益。从环境收益角度分析,2 MW 生物质气化发电技术 1 年的温室气体减排量为 $1.02\ \text{万 t}$, CDM 项目减排效益为 $64.464\ \text{万元}$, 6 MW 温室气体减排量为 $3.28\ \text{万 t}$, CDM 项目减排效益为 $207.296\ \text{万元}$ 。由于 CDM 机制带来的经济竞争力,使该类技术面临前所未有的发展机遇,为其加速推广创造了条件。

参考文献:

- [1] Renewable energy policy network for the 21st century: renewables 2005 global status report[R]. Washington D C: Worldwatch Institute, 2005.
- [2] 周中仁, 吴文良. 生物质能研究现状及展望[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 12-15.
- [3] 钟平, 邵文奇, 纪力, 等. 江苏省秸秆发电厂草木灰的利用现状[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(5): 360-361.
- [4] 李京京, 任东明, 庄幸. 可再生能源资源的系统评价方法及实例[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 373-380.
- [5] 丁兆军. 生物质制氢技术综合评价研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2010.
- [6] 李京京, 白金明, Overend R. 中国生物质资源可获得性评价[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [7] 钟华平, 岳燕珍, 樊江文. 中国作物秸秆资源及其利用[J]. 资源科学, 2003, 25(4): 62-67.
- [8] 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87-91.
- [9] 田宜水, 赵立欣, 孙丽英, 等. 农作物秸秆资源调查与评价方法研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(增刊): 583-586.
- [10] 中国林木生物质能源研究专题组. 中国林木生物质能源资源培育和发展潜力调查[J]. 中国林业产业, 2006(1): 12-21.
- [11] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布[J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 9-19.
- [12] 国家统计局工业交通统计司. 中国能源统计年鉴 2009[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005.
- [13] 中国农业部/美国能源部项目专家组. 中国生物质资源可获得性评价[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [14] 樊京春, 王永刚, 高虎. 生物质气化发电的经济效益分析[J]. 能源工程, 2004(1): 20-23.
- [15] 刘尚余. 可再生能源领域 CDM 项目开发的关键问题研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.
- [16] 吴创之, 周肇秋, 马隆龙, 等. 生物质气化发电项目经济性分析[J]. 太阳能学报, 2009, 30(3): 368-371.