

利用能值方法评价沼气工程性能 ——山东淄博案例分析

林妮娜, 庞昌乐, 陈理, 董仁杰

(中国农业大学 能源工程与低碳技术研究所, 北京 100083)

摘要: 运用能值分析方法对山东省淄博市畜禽养殖场沼气工程和秸秆发酵沼气工程的投入和产出进行了计算和分析, 结果显示: 畜禽养殖场沼气工程的生态经济价值为 2.38×10^5 \$/a, 秸秆沼气工程为 4.07×10^5 \$/a, 两种沼气工程均具有很高的生态经济价值。通过能值指标综合对比, 评价了淄博市两类沼气工程的效益和可持续发展能力, 对比结果表明: 畜禽养殖场沼气工程购入能值比率、能值投资率为秸秆沼气工程的 0.3 倍和 0.17 倍, 自然能值与购入能值比、能值产出率和能值自给率分别是秸秆沼气工程的 5.78 倍、1.77 倍和 1.7 倍; 废弃物处理率是秸秆沼气工程的 1.7 倍, 环境负荷率为秸秆沼气工程的 0.2 倍; 能值反馈率是秸秆沼气工程的 52 倍, 可更新率是秸秆沼气工程的 1.44 倍, 可持续发展指标是秸秆沼气工程的 9.25 倍。

关键词: 畜禽养殖场; 秸秆; 沼气工程; 能值分析

中图分类号: TK6; X82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2011)03-0061-06

Energy analysis of biogas plants in Zibo of Shandong Province

LIN Ni-na, PANG Chang-le, CHEN Li, DONG Ren-jie

(Energy Engineering and Low Carbon Technology Library, China Agriculture University, Beijing 100083, China)

Abstract: There are mainly two types of large and medium-scale biogas plants in Zibo of Shandong province: one is biogas plant in livestock and poultry farms and the other is stalk biogas plant. In this paper, the inputs and outputs of the two kinds of biogas plants in this city are analyzed by applying energy analysis method. The results show that the ecological economic benefits are 2.38×10^5 \$/a in biogas plant in livestock and poultry farms and 4.07×10^5 \$/a in stalk biogas plant, respectively. The ecological economic benefits of the two kinds of biogas plant are both very high. The efficiency and sustainable development capability of the two kinds of biogas plant are evaluated by integrated comparative indices. Comparison results show that purchase energy ratio and energy investment ratio of biogas plant in livestock and poultry farms is 0.3 times and 0.17 times of the stalk biogas plant, the ratio of the natural energy to purchase energy, the energy yield ratio and energy self-sufficiency ratio is 5.78 times, 1.77 times and 1.7 times of the stalk biogas plant, respectively. The waste treatment ratio of biogas plant in livestock and poultry farms is 1.7 times of the stalk biogas plant while the environmental load ratio is 0.2 times. The renewable index and the environmental sustainability index of biogas plant in livestock and poultry farms are 1.44 times and 9.25 times, respectively.

Key words: livestock farms; stalk; biogas project; energy analysis

0 引言

山东省淄博市辖五区三县和一个国家级高新技术产业开发区, 总面积 5 965 km², 人口 420.6

万, 其中耕地面积 16 万 hm², 农业人口 140 万。近年来, 该市以沼气建设为重点, 着力抓好农业废弃物转化利用, 有效处理畜禽粪便, 引进、改良、利用

收稿日期: 2011-02-16。

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2008BAD4B17)。

作者简介: 林妮娜(1984-), 女, 硕士研究生, 主要从事农村大中型沼气工程的评价研究。E-mail: linnina0584@163.com

通讯作者: 庞昌乐(1963-), 男, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要研究领域为沼气工程技术装备和过程控制。E-mail: pangcl@cau.edu.cn

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

秸秆发酵技术,坚持把沼气建设作为发展循环农业的重要载体和关键环节。截至2009年,全市已经建成大中型沼气工程21处^[1],发展畜禽养殖场沼气工程16处,户用秸秆沼气池2000余口,大型秸秆沼气工程5处,全市户用沼气池以每年1万口的速度递增。淄博市农业局在《淄博市循环农业示范市建设规划》中提出了“减量化、再利用、资源化”的目标,每年投入农村沼气池建设资金1000万元,引导吸引社会资金3000余万元。在“十二五”期间,仅淄川区就计划建设大中型沼气工程20处。这些工程的实施和建设对于解决能源危机和环境污染问题起到了巨大的作用。本文以淄博市目前两种类型的大中型沼气工程为案例,对比分析其生态经济效益、环境效益和可持续发展能力3项指标,为政府部门在“十二五”期间投资建设大中型沼气工程项目提供科学决策依据。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象概况

以淄博市大力推广的两种大中型沼气工程——畜禽养殖场沼气工程和秸秆沼气工程为研究对象,以一个完整的生产年度为界限,对沼气的各种投入和产出进行了详细的实地调研。本研究选定的两个工程是淄博市具有普遍代表性的工程,均为处理废弃物的综合利用系统。

畜禽养殖场沼气工程位于某养殖场内,该养殖场存栏1000头肉牛,30头奶牛。沼气工程占地2000 m²,该地点全年太阳辐射量为5.18×10⁹ J/m²,平均降雨量为695 mm/a,日处理粪便40 t,尿和冲刷水68~72 t。建造2000 m³ USR 厌氧反应器,日产沼气900 m³,其中约84.78%用于发电联网,联网电价为0.5元/kWh。冬季须要对沼气系统补充能量,以维持中温发酵,按4个月计算,每年大约需要煤炭25 t。系统每天产出沼液约100 t,沼渣约4 t。

秸秆沼气项目地处淄博市中部,占地面积3333.33 m²,平均日处理玉米秸秆1.5 t,该地点平均降雨量为630 mm/a。原料进入1000 m³ CSTR 发酵罐中反应,日产沼气750 m³。通过输配气管将沼气供给435户农户作为生活用能,沼气价格为1.3元/m³。系统日产沼液20 t,沼渣0.63 t。每年12月初到3月底须要对系统加热保温,共须用煤约11 t,以保证生活用气需要。

1.2 能值计算方法

通过实地调研两个沼气工程2009年完整生产年度的投入和产出数据,并查阅统计年鉴收集当地的气象数据,绘出沼气工程的能量系统图(图1,2)。在能量系统中,系统输入的资源分为3部分:可再生自然资源(RR),包括太阳能、雨能、原料等;购买的可再生资源(RP),如劳动力;购买的不可再生资源(NP),如土建、设备投资、煤和电等;系统输出的资源(Y)包括沼气、沼液和沼渣。在沼气工程中,能值产出的经济价值被转换成太阳能值,太阳能值又通过能值-货币比率转换成能值-货币价值Em\$。在本文中代表能值流动的宏观经济价值Em\$反映沼气工程的生态经济价值。能值的具体计算参照Odum, Ulgiati and Brown, 蓝盛芳等介绍的方法^{[2],[4]}。原始数据能量转换参照《农业生态学》介绍的研究成果^[5],能值转换率和能值-货币比率参照Odum和最新文献的研究成果。

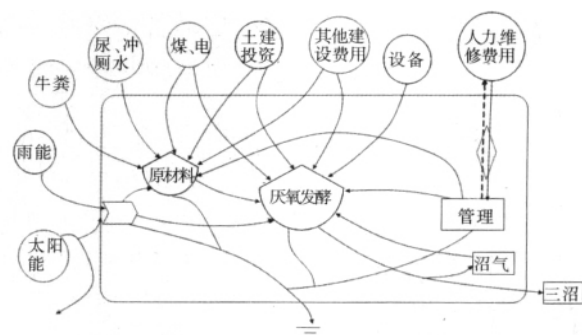


图1 畜禽养殖场沼气工程能量系统图
Fig.1 Energy system diagram of biogas project in livestock farms

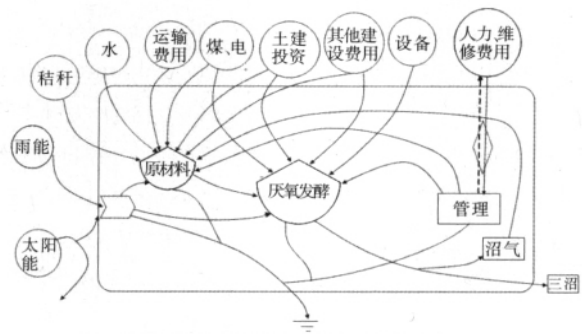


图2 秸秆沼气工程能量系统图
Fig.2 Energy system diagram of stalk biogas project

1.3 能值评价指标

为对比评价两种类型沼气工程的生态经济效益、环境效益和可持续发展能力,本文选取了10个评价指标,它们的定义分别如下。

①购入能值比率，即系统社会经济反馈投入能值与总投入能值的比率,该值越小,表明系统对外界资源的依赖程度越低。

②自然能值与购入能值的比值，即系统自然环境投入能值除以经济社会反馈投入能值，该值越大,产业竞争力越强。

③能值投资率(*EIR*)，即社会经济反馈投入能值与自然投入能值之比,该值越小,系统投入的成本越低。

④能值产出率(*EYR*)，即系统总产出能值与社会经济反馈投入能值之比,该值越大,系统的产出越高。

⑤能值自给率(*ESR*)，即系统自然环境投入能值与系统能值总投入量的比值,该值越大,系统的自我维持能力越高。

⑥废弃物处理率，即系统处理废弃物的能值除以能值总投入量,该值越高,表明系统对废弃物的处理能力越强。

⑦环境负载率(*ELR*)，即系统不可再生能值总量与可再生能值总量的比值,该值越小,表明系统对环境的压力越小。

⑧能值反馈率(*FYR*)，即系统自身反馈能值与经济的反馈能值的比值,该值越大,表明系统的自我组织能力越强。

⑨可更新率(*%R*)，即系统可再生能值总量与系统能值总投入量的比值,该值越大,表明系统的可再生性越好。

⑩能值可持续指标(*ESI*)，即能值产出率与环境负载率的比值,该值越大,表明系统的可持续发展能力越好。

利用上述能值指标可综合对比评价淄博市两种类型大中型沼气工程的生态经济、环境效益和可持续发展能力。

2 结果与讨论

2.1 能值结果分析

如表 1 所示，畜禽养殖场沼气工程的能值总投入量是 1.55×10^{18} sej/a,其中 *RR*,*RP*,*NP* 分别占能值总投入量的 86%,4%和 10%(图 3)。在可再生自然资源投入的能值中,固态牛粪、尿和冲刷水分别占 52.79%和 47.20%，是畜禽养殖场沼气工程中的输入量较大的两种资源。沼气工程产出的沼气、沼液和沼渣，分别占系统能值总产出量的

表 1 畜禽养殖场沼气工程能值计算表
Table 1 Energy accounting for the biogas project in livestock farms

项目	原始数据	单位	太阳能 值转换 率 sej/unit	参 考 文 献	太阳能 值 / sej	能值-货 币价值/\$
投入可再生自然资源						
1 太阳能	7.25×10^{12}	J	1.00×10^0	2	7.25×10^{12}	3.47
2 雨水化学能	6.87×10^9	J	3.05×10^4	6	2.09×10^{14}	100
3 雨水重力势能	9.40×10^7	J	4.70×10^4	6	4.42×10^{12}	2.11
4 固态牛粪	2.58×10^{13}	J	2.70×10^4	4	6.98×10^{17}	334 000
5 尿和冲刷污水	1.64×10^{11}	J	3.80×10^6	7	6.24×10^{17}	298 000
合计(<i>RR</i>)					1.32×10^{18}	633 000
购买的可再生资源						
6 劳动力	9.20×10^9	J	7.24×10^6	2	6.66×10^{16}	31 900
合计(<i>RP</i>)					6.66×10^{16}	31 900
购买的不可再生资源						
7 土建投资	4.25×10^3	\$	3.40×10^{12}	9	1.45×10^{16}	6 910
8 维修费用	4.39×10^3	\$	3.40×10^{12}	9	1.49×10^{16}	7 150
9 设备投资	1.41×10^4	\$	3.40×10^{12}	9	4.78×10^{16}	22 900
10 其他建设费用	4.98×10^3	\$	3.40×10^{12}	9	1.69×10^{16}	8 100
11 煤	6.69×10^{11}	J	6.69×10^4	2	4.48×10^{16}	21 400
12 电	1.26×10^{11}	J	1.65×10^5	2	2.07×10^{16}	9 910
合计(<i>NP</i>)					1.60×10^{17}	76 400
总投入					1.55×10^{18}	741 000
反馈						
13 反馈沼气	9.46×10^{11}	J	2.48×10^5	10	2.35×10^{17}	112 000
合计(<i>F</i>)					2.35×10^{17}	112 000
产出						
14 沼气	5.27×10^{12}	J	2.48×10^5	10	1.31×10^{18}	625 000
15 沼液肥(氮肥)	2.64×10^7	g	4.62×10^9	11	1.22×10^{17}	58 400
16 沼液肥(磷肥)	0.00×10^0	g	1.78×10^{10}	11	0.00×10^0	0
17 沼液肥(钾肥)	1.65×10^7	g	1.74×10^9	11	2.87×10^{16}	13 700
18 沼液肥 (有机质)	1.65×10^8	g	1.24×10^5	12	2.05×10^{13}	9.79
19 沼渣肥(氮肥)	1.00×10^7	g	4.62×10^9	11	4.63×10^{16}	22 200
20 沼渣肥(磷肥)	3.04×10^7	g	1.78×10^{10}	11	5.40×10^{17}	259 000
21 沼渣肥(钾肥)	1.32×10^6	g	1.74×10^9	11	2.30×10^{15}	1100
22 沼渣肥 (有机质)	8.32×10^7	g	1.24×10^5	12	1.03×10^{13}	4.93
总产出					2.05×10^{18}	979 000

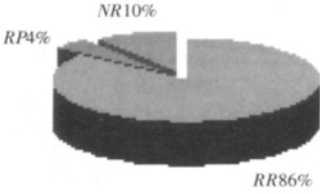


图 3 畜禽养殖场沼气工程能值投入比例
Fig.3 Energy input ratio of the biogas project in livestock farms

64%,7%和 29%(图 4),系统能值总产出量为 2.05×10^{18} sej/a,其中沼气能值为 1.31×10^{18} sej/a。

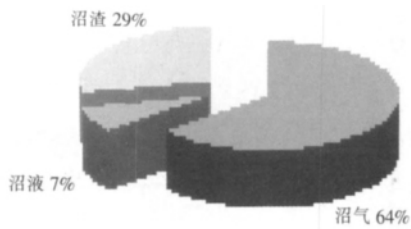


图 4 畜禽养殖场沼气工程能值产出比例
Fig.4 Energy output ratio of the biogas project in livestock farms

在秸秆沼气工程中,能值总投入量为 5.51×10^{17} sej/a,能值总产出量为 1.40×10^{18} sej/a(表 2)。

表 2 秸秆沼气工程能值计算表

Table 2 Energy accounting for stalk biogas project

项目	原始数据	单位	太阳能 值转换 率 sej/unit	参 考 文 献	太阳能 值 / sej	能值-货 币价值/\$
投入可再生自然资源						
1 太阳能	1.21×10^{13}	J	1.00×10^0	2	1.21×10^{13}	5.78
2 雨水化学能	1.04×10^{10}	J	3.05×10^4	6	3.16×10^{14}	151
3 雨水重力势能	1.48×10^8	J	4.70×10^4	6	6.96×10^{12}	3.33
4 水	1.65×10^8	g	4.65×10^5	8	7.67×10^{13}	36.7
5 秸秆	7.11×10^{12}	J	3.90×10^4	4	2.77×10^{17}	133 000
合计(RR)					2.78×10^{17}	133 000
购买的可再生资源						
7 土建投资	8.03×10^3	\$	3.40×10^{12}	9	2.73×10^{16}	13 100
8 维修费用	1.46×10^3	\$	3.40×10^{12}	9	4.98×10^{15}	2 380
9 设备投资	2.83×10^4	\$	3.40×10^{12}	9	9.61×10^{16}	46 000
10 原料运输费用	1.16×10^4	\$	3.40×10^{12}	9	3.94×10^{16}	18 900
11 其他建设费用	1.98×10^3	\$	3.40×10^{12}	9	6.72×10^{15}	3 220
12 煤	2.95×10^{11}	J	6.69×10^4	2	1.97×10^{16}	9 430
13 电	7.92×10^{10}	J	1.65×10^5	2	1.31×10^{16}	6 250
合计(NP)					2.07×10^{17}	99 200
总投入					5.51×10^{17}	264 000
反馈						
14 沼液肥(氮肥)	7.92×10^5	g	4.62×10^9	11	3.66×10^{15}	1 750
15 沼液肥(磷肥)	0.00×10^0	g	1.78×10^{10}	11	0	0
16 沼液肥(钾肥)	4.95×10^5	g	1.74×10^9	11	8.61×10^{14}	412
17 沼液肥 (有机质)	4.95×10^6	g	1.24×10^5	12	6.14×10^{11}	0.294
合计(F)					4.52×10^{15}	2 160
产出						
18 沼气	5.18×10^{12}	J	2.48×10^5	10	1.28×10^{18}	614 000
19 沼液肥(氮肥)	4.49×10^6	g	4.62×10^9	11	2.07×10^{16}	9 920
20 沼液肥(磷肥)	0.00×10^0	g	1.78×10^{10}	11	0.00×10^0	0
21 沼液肥(钾肥)	2.81×10^6	g	1.74×10^9	11	4.88×10^{15}	2 340
22 沼液肥 (有机质)	2.81×10^7	g	1.24×10^5	12	3.48×10^{12}	1.66
23 沼渣肥(氮肥)	1.58×10^6	g	4.62×10^9	11	7.30×10^{15}	3 490

续表 2

项目	原始数据	单位	太阳能 值转换 率 sej/unit	参 考 文 献	太阳能 值 / sej	能值-货 币价值/\$
24 沼渣肥(磷肥)	4.78×10^6	g	1.78×10^{10}	11	8.51×10^{16}	40 700
25 沼渣肥(钾肥)	2.08×10^5	g	1.74×10^9	11	3.62×10^{14}	173
26 沼渣肥 (有机质)	1.31×10^7	g	1.24×10^5	12	1.62×10^{12}	0.777
总产出					1.40×10^{18}	671 000

秆沼气工程能值投入量和产出量均远小于畜禽养殖场沼气工程,这是由秸秆沼气工程的规模、工艺类型和运行情况综合决定的。在该工程的能值总投入量中,RR,RP,NP 分别占 50%,12%和 38%(图 5),秸秆的能值投入量最大,其次是设备投资。在能值产出量中,沼气、沼液和沼渣分别占 91%,2%和 7%(图 6)。该工程是能源生态型沼气工程,主要产物为沼气,沼气的能值产出量为 1.28×10^{18} sej/a。

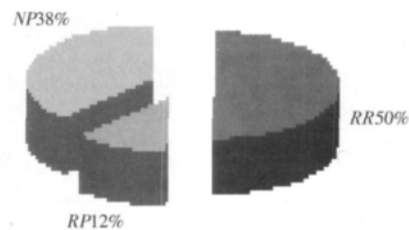


图 5 秸秆沼气工程能值投入比例
Fig.5 Energy input ratio of stalk biogas project

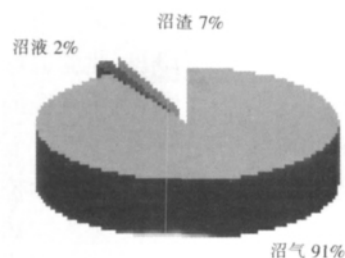


图 6 秸秆沼气工程能值比例
Fig.6 Energy yield ratio of stalk biogas project

2.2 生态经济价值分析

沼气工程作为处理畜禽粪便和农业废弃物的循环农业生态模式,其生态经济价值应该采用能值-货币价值来衡量,而不仅仅是采用经济货币收益来衡量。能值-货币价值是能值价值在经济市场中具体的体现形式。由表 3 可以看出,畜禽养殖场沼气工程和秸秆沼气工程的生态经济价值分别为 2.38×10^5 \$/a, 4.07×10^5 \$/a,两种沼气工

程均具有很高的生态经济价值。淄博市沼气工程的选址和建设目的均以处理废弃物为主要考虑因素,其原料来源于可再生自然资源,因此沼气工程具有非常显著的生态环境效益。沼气工程产出的大部分沼气用于满足能源需求,沼液和沼渣可以作为农作物、蔬菜和果树的有机肥料,从而提高了沼气工程的生态经济价值。

表 3 能值-货币价值表

Table 3 Table of emergy monetary value \$/a		
项目	畜禽养殖场沼气工程	秸秆沼气工程
RR	6.33×10 ⁵	1.33×10 ⁵
RP	3.19×10 ⁴	3.19×10 ⁴
NP	7.64×10 ⁴	9.92×10 ⁴
总投入	7.41×10 ⁵	2.64×10 ⁵
沼气	6.25×10 ⁵	6.14×10 ⁵
沼液	7.21×10 ⁴	1.23×10 ⁴
沼渣	2.82×10 ⁵	4.44×10 ⁴
总产出	9.79×10 ⁵	6.71×10 ⁵
经济生态价值	2.38×10 ⁵	4.07×10 ⁵

2.3 能值指标分析

从生态经济效益、环境效益和可持续发展 3 个方面对两种沼气工程的各项指标进行对比分析(表 4)。

表 4 能值指标对比表

Table 4 The comparative table of energy indicator

评价项目	评价指标	代码	结果		
			畜禽养殖(1)	秸秆(2)	(1)/(2)
生态经济效益	购入能值比率		0.15	0.5	0.3
	自然能值与购入能值比		5.84	1.01	5.78
	能值投资率	EIR	0.17	0.99	0.17
	能值产出率	EYR	9.05	5.12	1.77
	能值自给率	ESR	0.85	0.5	1.7
环境效益	废弃物处理率	%W	85	50	1.7
	环境负荷率	ELR	0.12	0.6	0.2
可持续发展	能值反馈率	FYR	1.04	0.02	52
	系统可更新率	%R	89.68	62.4	1.44
	可持续发展指数	ESI	78.66	8.5	9.25

由表 4 可以看出,淄博市畜禽养殖场沼气工程的购入能值比率是秸秆沼气工程的 0.3 倍,自然能值与购入能值比是秸秆沼气工程的 5.78 倍,说明畜禽养殖场沼气工程对外界资源的依赖程度低,自然资源的利用率高,产业竞争力优于秸秆沼气工程。畜禽养殖场沼气工程的能值投资率是秸秆沼气工程的 0.17 倍,能值产出率是秸秆沼气工程的 1.77 倍,从系统对经济活动的净贡献来看,

畜禽养殖场沼气工程投入的经济成本低,生产效益好,能值利用率高,具有很高的开发利用竞争力。此外,畜禽养殖场沼气工程的能值自给率是秸秆沼气工程的 1.7 倍,表明畜禽养殖场沼气工程自给自足的能力更强,系统的自我维持能力更高。综合以上各指标可以看出,畜禽养殖场沼气工程的生态经济效益高于秸秆沼气工程。

畜禽养殖场沼气工程的废弃物处理率是秸秆沼气工程的 1.7 倍,环境负荷率为秸秆沼气工程的 0.2 倍,说明畜禽养殖场沼气工程对可再生资源的利用率高,对废弃物的处理率高,对环境的压力小,其环境效益更为显著。

畜禽养殖场沼气工程的能值反馈率是秸秆沼气工程的 52 倍,说明畜禽养殖场沼气工程的自我组织能力要远远高于秸秆沼气工程。畜禽养殖场沼气工程的可更新率是秸秆沼气工程的 1.44 倍,可持续发展指数是秸秆沼气工程的 9.25 倍,表明畜禽养殖场沼气工程具有很好的可再生性和可持续发展能力,是值得发展和推广的生物质工程。

3 结论

淄博市两种大中型沼气工程具有很高的生态经济价值。畜禽养殖场沼气工程的能值-货币价值为 2.38×10⁵ \$/a, 秸秆沼气工程的能值为 4.07×10⁵ \$/a。综合考虑货币、环境和人类生产要素可知,两类沼气工程均具有很大的发展潜力。

在淄博市两类沼气工程的能值投入中,可再生自然资源占的比例最高,说明系统具有很好的处理畜禽粪便和农作物秸秆的能力。在能值产出中,沼气占的比例最高,沼液和沼渣的比例较低。要实现沼气工程产业化发展,沼液、沼渣的高值利用是一个重要环节。所以,在今后的沼气工程建设中,政府要投资建设规模化的沼气工程,改进技术,提高沼液和沼渣的产量。

从能值的角度分析,淄博市的畜禽养殖场沼气工程在生态经济效益、环境效益和可持续发展能力方面要优于秸秆沼气工程。由于秸秆沼气工程增加了原料的收集、贮存和处理过程,技术处于起步阶段,因此存在很多问题^[13]。淄博市政府在今后的大中型沼气工程建设中,可以加大对畜禽养殖场沼气工程的投入和建设力度。如果要建设秸秆沼气工程,须要改进技术,因地制宜地选择发酵工艺^[13]。另外,也可根据当地的条件,采用秸秆固

上海太阳能科技有限公司“兆瓦级 BIPV 并网系统关键技术及工程化应用研究”项目顺利验收

2011 年 4 月 7 日, 由上海太阳能科技有限公司承担的“兆瓦级 BIPV 并网系统关键技术及工程化应用研究”项目经科技部领导及业内专家的评定, 在上海太阳能工程技术中心顺利验收。

该项目位于上海太阳能工程技术研究中心, 是目前国内光伏建筑一体化应用技术最多、种类最全、展示效果最好的光伏并网系统, 基本涵盖了全部的光伏与建筑的结合形式。作为该项目的承建单位, 上海太阳能科技有限公司自 2006 年起, 历时 3 年, 承担了 BIPV 光伏并网电站安装施工, 提供组件产品及建筑工程等工作。项目竣工至今, 运行时间累计超过 3 000 h。

该项目从建筑设计开始就考虑到光伏与建筑技术的紧密结合, 尽可能地将太阳能的利用技术与人类生活、工作活动相结合, 实现了有效性、实用性、美观性和经济性的和谐统一, 是世界上最大、最复杂、应用技术最多的建筑一体化(BIPV)集成系统, 研究成果在 2010 上海世博会永久场馆得到了应用, 为我国乃至世界大规模推广应用大型 BIPV 并网系统提供了有力的技术支撑, 项目总体技术达到了国际先进水平, 申请国家发明专利 2 项, 获得实用新型专利 12 项, 研制出的红外检测设备是世界上首例拥有自主知识产权的红外检测设备, 填补了国内相关领域的空白, 具有广阔的市场前景。

随着光伏技术的发展, 并网发电系统必将成为趋势。该项目解决了限制我国并网发电技术大规模推广应用的

化和秸秆养藕等其他技术。

参考文献:

- [1] 淄博市农业局. 山东省淄博市大中型沼气工程调查情况汇总表[R]. 淄博: 淄博市农业局, 2010.
- [2] ODUM HT. Environmental accounting: emergy and environmental decision making[M]. New York: Wiley and Sons, 1996.
- [3] ULGIATI S, BROWN M T. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems[J]. *Ecological Modeling*, 1998(8), 108:23-26.
- [4] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [5] 骆世明. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [6] ODUM HT, BROWN MT, BRANDT-WILLIAMS S. Handbook of energy evaluation, Folio #1 [M]. Gainesville: University of Florida, 2000.
- [7] GEBER U, BJORKLUND J. The relationship between



技术瓶颈, 可有效降低我国并网系统的成本, 使我国在能源紧张的情况下优先大量选择太阳能光伏发电成为可能。关键技术的解决还使我国在低成本电池制备技术、大面积高效组件技术、并网逆变及控制技术等多项技术上获得大的突破, 它不但可推进我国并网发电技术的发展, 而且可推动系统设计、电能质量控制、安全性、可靠性、建筑一体化建设与设计、电站测控技术等方面技术的发展。

作为航天光伏产业链的重要一环, 上海太阳能科技有限公司以发展清洁能源为己任, 强化并网技术的应用。按照“十二五”规划, 上海太阳能科技有限公司将积极发展光伏建筑一体化, 实现太阳能并网发电系统的普及, 为进一步降低光伏发电成本、传播高科技、节能减排、推进新环保技术发展做出贡献。

(王燕玲)

ecosystem services and purchased input in Swedish wastewater treatment systems—a case study[J]. *Ecological Engineering*, 2001, 19:97-117.

- [8] ZHOU JB. Embodied ecological elements accounting of national economy[D]. Beijing: Peking University, 2008.
- [9] 王栋. 基于能值分析的区域海洋环境经济系统可持续发展评价研究——以环渤海区域为例[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [10] BASTIANONI S, MARCHETTINI N. The problem of co-production in environmental accounting by energy analysis[J]. *Ecological Modeling*, 2000, 129:187-193.
- [11] 王建源, 薛德强, 田晓萍, 等. 山东省农业生态系统分析[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(5):718-722.
- [12] 胡艳霞, 周连第, 李红, 等. 北京郊区生物质两种气站净产能评估与分析[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(8):202.
- [13] 陈羚, 赵立欣, 董保成, 等. 我国秸秆沼气工程发展现状与趋势[J]. *可再生能源*, 2010, 28(3):147-148.