

北京郊区生物质两种气站净产能评估与分析

胡艳霞¹, 周连第^{1*}, 李红¹, 王爱玲¹, 史殿林², 王宇², 严茂超³

(1. 北京市农林科学院农业综合发展研究所, 北京 100097; 2. 北京市农业局农村能源与生态环境处, 北京 100029;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 该文采用能值方法对北京郊区生物质大中型秸秆气化站和沼气站的能值投入及产出进行了核算, 结果表明, 大中型秸秆气化站和沼气站净能值产出率 (EYR) 均小于 1, 秸秆气化站净能值产出率为 0.55, 沼气站净能值产出率为 0.70, 说明此 2 种能源经济生产方式效率低, 不具备经济活动竞争力。因受到技术水平制约, 这 2 种能源开发方式为经济不合算开发方式, 对其开发利用尤其是大中型沼气站的开发利用应有清醒认识, 因地制宜地建设并加大技术研发力度; 同时要注重其公益性特征, 充分挖掘北京郊区生物质资源开发潜力。

关键词: 秸秆气化, 沼气, 生物质, 净能值产出率

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.08.036

中图分类号: S216

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-8-0200-04

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): 200—203.
Hu Yanxia, Zhou Liandi, Li Hong, et al. Evaluation and analysis of net emergy yield of two bio-energy stations in Beijing suburb[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 200—203. (in Chinese with English abstract)

0 引言

植物每年储存的能量约相当于世界主要燃料消耗的 10 倍; 而作为能源利用量还不到其总量的 1%^[1-2]。专家预测到 2015 年, 全球总能耗将有 40% 来自生物质能源, 最有可能成为 21 世纪主要的新能源之一^[3-4]。生物质主要包括 2 种类型: 一是植物性生物质能, 包括木质的、非木质生物质能, 如秸秆、薪柴等; 二为动物性生物质能, 包括利用动物粪便生产沼气, 如畜禽粪便、生活垃圾、有机废渣废水等。

北京郊区现有耕地 1.5 万 hm^2 、森林面积 7.4 万 hm^2 ^[5], 生物质资源可利用总量大, 但近年北京市人口增长较快, 郊区农业人口已上升到 510 万人^[5], 人均占有资源量越来越少, 能源危机和环境污染日益成为困扰北京市发展的难题, 郊区生物质能源开发成为必然, 其中大中型沼气站和生物质集中供气站是重要的开发形式。根据北京市农委 2008 年“北京市新农村建设‘三起来’工程调研报告”, 仅 2007 年, 就投资 1.6 亿元建成大中型沼气工程 53 处, 总池容 1.5 万多 m^3 , 供气 1.4 万户; 生物质气化集中供气站 61 处, 供气 1.8 万户^[6], 这些工程的实施和建设, 取得了明显的社会效益、生态效益, 但原料和经济效益问题也很突出, 在政府部门对郊区进一步投资建设

之前, 迫切需要对两气站的净产能进行科学评估与分析, 以提供科学决策依据。

1 研究方法

本文采用的研究方法为能值核算方法。能值的定义是: 某一流动和贮存的能量包含的另一类型能量的数量^[7], 是指产生某一资源或劳务的过程中直接或间接消耗的另一种能量类型多少, 通常用太阳能值表示, 单位是太阳能焦耳 (简称为 sej)。由于能值表示了产品中所包含的直接或间接的某一类型的能量数量, 可以衡量真正的财富, 表示其对经济的实际贡献, 是环境经济综合核算和发展项目综合评估的有力工具^[8]。

能值评价方法及其在决策中的应用, 主要基于热力学和系统生态学原理, 现已广泛应用到生态经济综合研究领域。由于货币只用于人类的服务领域, 很难对资源环境进行科学定价, 用货币很难科学判定环境资源的真实贡献。能值综合分析方法综合考虑了自然因素和经济因素, 可用来对各类生态经济系统进行有效研究和评估^[8]。

能值转换率 (transformity) 是一个重要的概念, 它表示单位能量的能值数量, 与此相关的测度为单位质量的能值 (sej/g) 和单位货币能值 (sej/\$)。一种物质或资源的太阳能值转换率等于生产单位这种物体或资源所需太阳能, 单位是 sej/J。各种类型能量和日用品的太阳能值转换率可从有关研究中得到^[9]。

净能值产出率 (net emergy yield ratio, EYR) 为系统产出能值 (Yield) 与经济反馈 (F) (输入) 能值之比。反馈能值来自人类社会经济, 包括燃料和各种生产资料及人类劳务。净能值产出率是衡量系统产出对经济贡献

收稿日期: 2009-01-29 修订日期: 2009-04-25

基金项目: 北京市委组织部优秀人才 2008 年资助项目 (20081D0200500051)

作者简介: 胡艳霞 (1970—), 女, 河北人, 副研究员, 博士, 主要从事生态经济与区域持续发展研究。北京 北京市农林科学院农业综合发展研究所, 100097。Email: husunshine2002@yahoo.com.cn

*通信作者: 周连第 (1963—), 男, 辽宁人, 研究员, 博士, 主要从事资源环境与区域持续发展研究。北京 北京市农林科学院农业综合发展研究所, 100097。Email: liandizhou@126.com

大小的指标，也是衡量系统生产效率的一种标准，同时也是衡量和评价基本能源利用的指标^[9]。

2 秸秆气化站净产能评估

生物质气化集中供气工程简称秸秆气化站，是利用作物秸秆和废弃枝条等农林废弃物通过氧化或干馏产生 CO 或 H₂ 等可燃气，储存起来，通过管道集中供应农户炊事用能。根据对大兴、延庆、房山、密云等郊区县大中型秸秆气化站的调查，目前郊区秸秆气化站以氧化法为主，其主要原料为玉米芯，主燃气体为 CO 和甲烷，平均热值为 5 316~6 300 kJ/m³，每天每户需气量为 5~6 m³，每千克原料产气 2 m³，其副产品主要为焦油^[6]。

2.1 秸秆气化系统图

秸秆气化系统图如图 1 所示，系统外投入包括太阳能、风能、雨水、地下水及地质构造等可更新资源的投入及人工服务、燃料动力及厂房建筑等不可更新资源投入。系统内生产包括玉米生产、秸秆运输及秸秆气化等环节，为计算简便，仅以秸秆气化为研究对象（虚线部分），其投入为设备、厂房建筑、人工、电能和原材料，产出为秸秆气和钾肥。

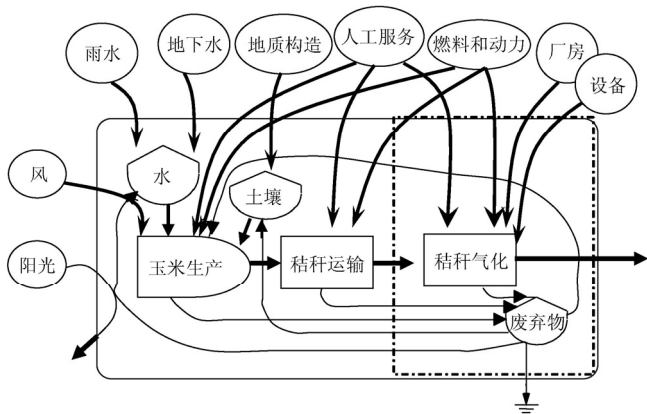


图 1 秸秆气化系统示意图
Fig.1 Schematic diagram of straw gasification system

2.2 秸秆气化站能值投入与产出

投入：秸秆气化站的投入包括设备、厂房建筑投入、人工投入、电能投入等。每个秸秆气化站（供应 200 户）设备及厂房建筑投资分别为 87.5 万元和 18 万元，折合为美元（按人民币汇率为 7.5 元/美元计算）分别为 11.7 万\$ 和 2.4 万\$，按 10 a 折旧计算，设备及厂房建筑投资为 1.4 万\$。每个气站平均雇用 2 名工人，人工的投入时间为 2 个人/年×365 d×8 h=5 840 h，按 750 kJ/h^[10]计算，每个秸秆气化站需人工 4.38×10⁹ J。电能每年费用为 7 000 元，约耗电 1×10⁷ kWh。氧化法气站每 kg 原材料产气 2 m³，因每年产气量为 5 m³×200 户×365 d=365 000 m³，则需原材料 182 500 kg。

产出：每年产气量为 365 000 m³，根据燃烧热值，计算得出秸秆气为 2.2×10¹² J。玉米芯灰分中 K₂O 质量分数为 17.25%，据此计算出草木灰（K₂O）为 1.8×10⁸ g。

详细见表 1。

表 1 北京郊区秸秆气化能值投入产出核算表
Table 1 Energy input and output of straw gasification in Beijing suburb

项目	项 目	数量	能值转化率/sej · J(g) ^{-1[14]} 能值货币比率/sej · \$ ⁻¹	太阳能值 /sej
产出	秸秆气	2.2E+12 J	1E+4	2.2E+16
	草木灰(K ₂ O)	1.8E+08 g	2.92E+09	9.2E+16
	合 计			1.1E+17
投入	设备/厂房建筑	1.4E+04 \$	1.18E+13	1.6E+14
	人 工	4.38E+09 J	4.5E+6	2.0E+16
	电 能	1.4E+04 kWh	2.69E+5 (sej/kWh)	3.8E+09
	原材料(玉米芯)	1.8E+08 g	1E+9	1.8E+17
	合 计			2.0E+17

2.3 秸秆气化站净产能估测与分析

净能值产出率（EYR）_{氧化法秸秆气化} =（产出能值）/输入经济能值 =（Y）/F =（1.1E+17）/（2.0E+17）=0.55

一般，净能值产出率越高，表明系统在获得了一定的经济能值投入后，能源生产与利用的效率越高，显示更强的经济活动竞争力。经济发达国家，诸如日本、荷兰、美国、英国和德国，在 20 世纪 50 年代和 60 年代，每花费 1 J 能量用于能源开发和生产，便可获得 40 J 能量。但随着能源勘探和开发的难度增大，花费于勘探、运输和生产过程的能量越来越多，能源生产的净能值产出大为下降，如石油目前的净能值产出率为 6：1，大大低于 20 世纪五六十年代 40：1 的能源净产出率。为此，通过净能值产出率，可以更好地了解某种能源生产是否具有竞争力及其经济效益^[9]。

如果净能值产出率 EYR>10，表示经济生产利用能源的效率较高，该经济活动竞争力较强；净能值产出率 1<EYR<10，说明该经济活动竞争力不强，经济生产利用能源效率较低；净能值产出率 EYR<1，则表明该经济活动不具备竞争力。本研究中，氧化法秸秆气化站的净能值产出率<1，很明显，这种能源开发目前尚无开发利用的竞争力。

3 大中型沼气站净产能评估

大中型沼气站，是指对规模畜禽养殖场粪污进行发酵，产生沼气，并通过管道集中供应农户炊事等生活用能。根据调研，目前郊区沼气站发酵主要原料为牛粪或猪粪（本文以牛粪为例），主燃气体为甲烷，平均热值为 2.1×10⁷ J/m³，每天每户需气量为 1~1.5 m³，每 20.8 kg 牛粪加 16.7 kg 水可产生 1 m³ 沼气（消耗其中的 19.3 kg 原材料），同时输出 5.2 kg 沼渣、13 kg 沼液^[6]。

3.1 沼气发酵系统图

沼气发酵系统示意图如图 2 所示，系统外投入包括太阳能、风能、雨水、地表水及地质构造等可更新资源的投入及人工服务、燃料动力及厂房建筑设备等不可更新资源投入。系统内生产包括饲料生产、畜牧养殖、粪便收集与运输及沼气发酵等环节，为计算简便，仅以沼

气发酵为研究对象（虚线部分），其投入为设备、厂房建筑、人工、燃料动力和原材料，产出为沼气、沼液、沼渣。

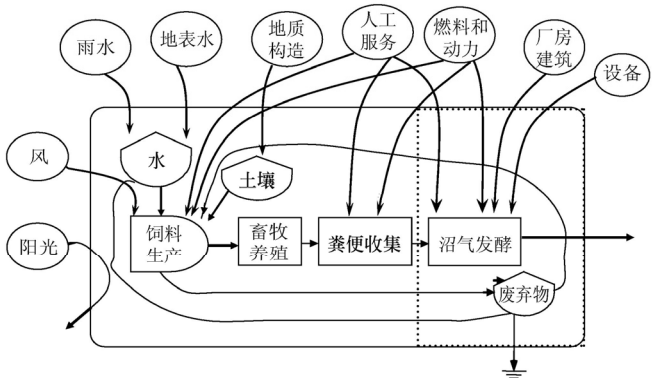


图 2 沼气发酵系统示意图

Fig.2 Schematic diagram of biogas fermentation system

3.2 大中型沼气站能值投入与产出

投入：大中型沼气站的投入包括设备投资、年运转费用和原材料费用等。每个大中型沼气站（供应 200 户）设备及厂房建筑投资为 260 万元，折合为美元（按人民币汇率为 7.5 元/美元计算）为 34.7 万\$，按 10 a 折旧计算，设备及厂房建筑投资为 3.5 万\$。每个沼气站年运转费用为 20 万元，折合为美元为 2.7 万\$。供应 200 户的大中型沼气站产生沼气 $1.5\text{ m}^3 \times 200\text{ 户} \times 365\text{ d} = 109\,500\text{ m}^3$ ，则需牛粪 $2.3 \times 10^6\text{ kg}$ 、 $1.8 \times 10^6\text{ kg}$ 水（根据上述平衡参数计算），其中 N、P、K 及有机质质量分数及能值见表 2^[10,15]。

表 2 畜禽粪便养分含量参数及数量

Table 2 Parameters and contents of animal excrement

	有机质	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	H ₂ O	合计
牛粪成分质量分数/%	14.5	0.32	0.25	0.15	83	
牛粪成分数量/kg	3.2E+06	7.0E+03	5.5E+03	3.3E+03	1.8E+06	
能值转换率/(sej · g ⁻¹)	1.24E+05	4.05E+10	3.70E+10	2.92E+09	6.9E+04	
能值/sej	4.0E+14	2.8E+17	2.0E+17	9.6E+15	1.2E+14	4.9E+17

注：能值转化率参见 Howard T.Odum, Handbook of Emeryg Evaluation, Folio#1-5^[1-14]。

产出包括：沼气、沼渣、沼液。沼气，由前述可知，每大中型沼气站可产沼气 $109\,500\text{ m}^3$ ，根据沼气的热值可知产沼气 $2.3 \times 10^{12}\text{ J}$ 。根据上述平衡参数，计算出沼渣、沼液量，分别为 $5.7 \times 10^5\text{ kg}$ 和 $1.4 \times 10^6\text{ kg}$ ，再根据表 3^[10,15] 中参数，计算出沼渣、沼液中 N、P、K 及有机质质量分数及能值，如表 4 所示。能值投入及产出见表 5。

表 3 沼肥养分含量参数

Table 3 Nutrient parameters for bio-fertilizer %

	N 体积分数	P ₂ O ₅ 体积分数	K ₂ O 体积分数	有机质
沼渣	0.76	2.3	0.1	6.3
沼液	0.08	0	0.05	0.5

表 4 北京郊区沼肥养分体积分数

Table 4 Nutrient contents of bio-fertilizer in Beijing suburb

	沼渣/kg	沼液/kg	合计/kg	能值转化率/(sej · g ⁻¹)	能值/sej
N 体积分数	4332	1120	5452	4.05E+10	2.2E+17
P ₂ O ₅ 体积分数	13110	0	13110	3.70E+10	4.9E+17
K ₂ O 体积分数	570	700	1270	2.92E+09	3.7E+16
有机质	35910	7000	42910	1.24E+05	5.3E+12
合计/sej					7.5E+17

表 5 北京郊区大中型沼气站能值投入产出表

Table 5 Emeryg input and output of large-medium biogas stations in Beijing suburb

	数量	能值转化率/sej · J(g) ⁻¹ 能值货币比率/sej · \$ ⁻¹	太阳能值/sej
产出			
沼气	2.3E+12 J	4.54E+04	1.0E+17
沼渣、沼液			7.5E+17
合计			8.5E+17
投入			
设备及建筑	3.5E+04 \$	1.18E+13	4.1E+17
年运转费用	2.7E+04 \$	1.18E+13	3.2E+17
原材料			4.9 E+17
合计			12.2E+17

3.3 大中型沼气站净产能估测与分析

净能值产出率 (EYR)_{沼气站} = (产出能值)/输入经济能值 = (Y)/F = (8.5E+17)/(12.2E+17) = 0.70。

因净能值产出率远远小于 1，很明显，此能源开发目前不具备开发利用的竞争力。

4 结论与讨论

1) 生物质开发利用是北京郊区在资源危机与环境污染防治胁迫下必然采取的措施之一。目前比较先进的生物质利用途径是大中型沼气站和大中型秸秆气化站，二者是实现京郊畜禽养殖、种植等农业废弃物资源循环的重要环节。产生的气体燃料能够实现部分区域农村用能的优质化，年可节约标准煤 3.2 万 t^[6]；同时大型气站通过对畜禽粪便、秸秆等种养废弃物的处理，可使农村环境得到有效改善，降低废弃物对地下水等造成的污染，环境效益明显；但根据能值评估结果，两气站净能值产出率 (EYR) 均小于 1，表明，北京郊区秸秆气化和沼气开发的经济生产能源效率较低、竞争力不强，为此，两气站的开发利用在现有技术条件下还不具备推广价值，一定要有清醒的认识，不可盲目投资，以减少损失和浪费。

2) 如果提高现有技术，减少两气站建设中固定资产投资，或日常运营费用，同时通过技术措施提高秸秆气、沼气的纯度，增大其热值，增加副产品的效益，两气生产的净能值产出率就会大大提高，从而大大提高此能源开发的竞争力。

3) 北京郊区生物质能源两气站的开发要以两个角度为前提条件，一是公益角度，两气站的发展对加强农村废弃资源的利用及农民生活质量的提高是大有裨益的，从公益角度，拿出定量资金发展公益事业对于促进环境

保护和资源再生有利无害;二要从资源开发效率角度出发,目前两气站开发不合算。为此,要加强研发力度,积极探索净能值产出率大于1甚至于大于10的先进技术措施与手段,使两气站的开发真正服务于北京郊区,造福于人类社会。

[参 考 文 献]

- [1] 何京. 人类社会的新能源——生物质能[J]. 广西节能, 2005, (1): 35—36.
- [2] 王海, 卢旭东, 张慧媛. 国内外生物质的开发与利用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增刊1): 8—11.
Wang Hai, Lu Xudong, Zhang Huiyuan. Exploitation and utilization of biomass at home and abroad[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(Supp 1): 8—11. (in Chinese with English abstract)
- [3] 吴德军, 王开芳, 胡丁猛, 等. 林木生物质能源研究进展及发展趋势[J]. 山东林业科技, 2008, (1): 79—81.
- [4] 张希良, 岳立, 柴麒麟, 等. 国外生物质能开发利用政策[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增刊1): 4—6.
Zhang Xiliang, Yue Li, Chai Qiming, et al. Foreign policies for exploitation and utilization of biomass energy[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(Supp 1): 4—6. (in Chinese with English abstract)
- [5] 北京市统计局农村处, 国家统计局北京调查总队农村调查处. 农村统计调查资料[Z]. 2007: 1—49.
- [6] 北京市农林科学院农业综合发展研究所, 北京市新农村建设“三起来”工程调研报告. 中共北京市委农村工作委员会、北京市农村工作委员会, 京郊调研(内部刊物)[Z]. 2008, 17.
- [7] Odum H T. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making[M]. New York: John Wiley Sons, 1996.
- [8] 胡艳霞, 周连第, 董孝斌, 等. 密云库区引流养鱼资源开发模式评估[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5675—5683.
Hu Yanxia, Zhou Liandi, Dong Xiaobin, et al. Evaluation of a demonstration fish farm using river water upreach of Miyun Reservoir, Beizhuang district, Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5675—5683. (in Chinese with English abstract)
- [9] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳, 等. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 83—102.
- [10] 《农业技术经济手册》编委会. 农业技术经济手册[M]. 北京: 农业出版社, 1984: 857—1025.
- [11] Howard T. Odum. Handbook of Emergy Evaluation, a compendium of data emergy computation issued in a series of Folios#2, Emergy of Global Processes[C]. University of Florida, Gainesville, 2000: 32611—6450.
- [12] Mark T. Brown, Eliana Bardi. Handbook of Emergy Evaluation, a compendium of data for emergy computation issued in a series of Folios#3, Emergy of Ecosystems[M]. University of Florida, Gainesville, 2001: 32611—6450.
- [13] Sherry L. Brandt-Williams. Handbook of Emergy Evaluation, a compendium of data for emergy computation issued in a series of Folios#4, Emergy of Florida agriculture[M]. University of Florida, Gainesville, 2002: 32611—6450.
- [14] Howard T. Odum., Mark T. Brown, Sherry Brandt-Williams. Handbook of Emergy Evaluation, a compendium of data emergy computation issued in a series of Folios. Folio#1, Intrduction and Global Budget[M]. University of Florida, Gainesville, 2000: 32611—6450.
- [15] 骆世明, 陈聿华, 严斧. 农业生态学[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1988: 451—473.

Evaluation and analysis of net emergy yield of two bio-energy stations in Beijing suburb

Hu Yanxia¹, Zhou Liandi^{1*}, Li Hong¹, Wang Ailing¹, Shi Dianlin², Wang Yu², Yan Maochao³

(1. The Institute of Integrated Development of Agriculture, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097;

2. The Rural Energy Sources and Environment Department, Beijing Municipal Bureau of Agriculture, Beijing 100029, China;

3. Institute of Geographical Science and Natural Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Based on emergy method, the paper evaluated emergy input and output of middle straw gasification stations and biogas stations in Beijing suburb. The results showed that the net emergy yield ratio of straw gasification was higher than that of biogas station, and they were both lower than 1, which indicated that they both had a lower efficiency and no stronger economic competitiveness. So the development mode of two kinds of energy was uneconomical and unreasonable due to technical restriction. We should have a better understanding of the development mode of biomass energy, especially the development mode of the big or middle biogas stations. It should be constructed suitably according to the local conditions and lay emphasis upon the enhancement in research, meanwhile, it should also lay emphasis upon the commonweal characteristic of the bio-energy and exploit adequately the potential of biomass resources in Beijing suburb.

Key words: straw gasification, biogas, biomass, net energy yield ratio