

农村沼气的减排效应和成本效益分析

朱立志¹ 叶 晗²

(中国农业科学院农业经济发展研究所, 北京 100081)

摘要 本文意在对中国农村户用沼气替代薪柴所产生的CO₂的减排量及增加的林地碳汇进行量化分析,并预测未来20年中国农村地区CO₂减排效应。同时,计算农村户用沼气池的成本效益。首先采用国际通用的减排量计算方法,在2000-2010年中国农村沼气和薪柴消费统计数据基础上,计算沼气替代薪柴所产生的CO₂的减排量及碳汇效应。其次,以中国沼气大省湖南省的360户农户2010年的调查数据为基础,利用成本效益分析的原理和方法,将环境效益考虑在内,对农村户用沼气池的效益进行计算和分析。结果显示用沼气替代薪柴的减排效益,相当于平均每年保护了106.67万hm²的森林,每年可产生近53.34万t的碳汇。此外,虽然农村户用沼气池建设有显著正外部性,但政府补贴量远远不足以补偿沼气的正外部性。因此,我国政府应在未来半个世纪在农村大力发展户用沼气池建设,同时增加对沼气建设正外部性补贴力度。

关键词 沼气,薪柴,减排效益,成本效益

目前,我国农村能源消费主要以秸秆和薪柴为主,这不仅导致生物质能低效率消耗,而且燃烧过程中排放的大量CO₂和烟尘严重影响了生态环境和生活环境。沼气是可再生资源,可以替代薪柴低热效率的能源使用,这样既能缓解目前中国农村生物质能源短缺问题,又能减少温室气体排放,同时还能限制林木薪柴的砍伐,增加碳汇,一举多得。近些年来,沼气发展势头良好,消费量仅次于液化石油气的消费量,在农村能源中具有一定的地位。本文采用国际通用的减排量计算方法及成本效益分析方法,意在量化中国农村沼气替代薪柴所产生的CO₂的减排量,增加的林地碳汇及农村户用沼气池建设的经济效益,社会效益和环境效益,从而为制定我国农村能源发展战略和农村环境规划提供科学、可靠的参考。

1 沼气替代薪柴的减排效应分析

1.1 沼气对薪柴的替代效应

根据中国能源年鉴数据可知,在中国农村生活用能消费结构变化中,生物质能在农村能源中的消费比重呈下降趋势,而新型能源所占的比重则逐渐上升。虽然农村生活用能消费结构逐渐在向科学化、合理化方向发展,但近10年来,我国每年薪柴的消费量仍然在亿吨以上。据专家估算,农村每人平均年需薪柴675kg,而实际只能合理提供146kg,约有0.8-1亿农户每年缺柴3-6个月。

全国农区每年烧掉木材近1亿m³,占全国森林资源总消耗量30%^[1]。以2000-2009年中国农村生物质能消费量为基础,根据沼气密度(1.22kg/m³)、沼气的折标煤系数(0.714kgcoal-e/m³)^[2],薪柴折标煤系数(0.571kg/kg)^[3],依次算出沼气质量,及标煤当量。

表1 2000-2009年中国农村生物质能消费情况

年份	沼气			薪柴	
	实物量 (万m ³)	质量 (万10 ³ kg)	折标煤 (万10 ³ kg)	实物量 (万10 ³ kg)	折标煤 (万10 ³ kg)
2000	227417.22	277.45	162.29	14100.90	8051.68
2001	314574.10	383.78	220.00	17088.10	9757.28
2002	374941.00	457.43	267.69	19967.20	11401.27
2003	460590.27	561.92	330.21	20375.60	11634.50
2004	558555.27	681.44	398.85	21091.93	12043.45
2005	690113.54	841.94	492.66	18055.28	10309.52
2006	840562.18	1025.49	508.54	18991.43	9685.63
2007	1023962.60	1249.23	731.11	18216.89	9290.62
2008	1184340.00	1444.89	845.62	16688.90	8511.34
2009	1379015.70	1682.40	984.62	—	—
平均	705407.188	860.60	494.16	18485.92	10271.74

数据来源:中国能源统计年鉴2000-2010,中国新能源与可再生能源年鉴2009。

自2000年至2009年,我国农村每年沼气平均产气量70亿m³,约494.2万t标准煤,每年薪柴消费量近1.85



亿 t, 相当于 1 亿 t 标准煤。据测算, 一口农村户用沼气池平均每年可产气 400m³, 每年节柴 2000kg 以上, 相当于每年保护 3.5 亩即 0.233 hm² 森林资源 (1 hm²=15 亩)。假设在全国农村的薪柴使用中, 用沼气来替代 5% 的薪柴, 则 2000—2008 年平均每年可节省 914.3 万 t 薪柴消费 (实物量), 年均所需沼气体量为 18.29 亿 m³, 可保护森林面积 106.7 万 hm²/年 (见表 2)。

表 2 替代 5% 薪柴所需沼气体量及森林保护面积 [半栏]

年份	替代薪柴量		所需沼气体量		保护森林 面积 (万 hm ²)
	实物量 (万 10 ³ kg)	折标煤 (万 10 ³ kg)	实物量 (万 m ³)	折标煤 (万 10 ³ kg)	
2000	705.05	402.58	141009.00	100.68	82.26
2001	854.41	487.87	170881.00	122.01	99.68
2002	998.36	570.06	199672.00	142.57	116.48
2003	1018.78	581.72	203756.00	145.48	118.86
2004	1054.60	602.18	210919.30	150.60	123.04
2005	902.76	515.48	180552.80	128.91	105.32
2006	949.58	542.22	189914.30	135.60	110.78
2007	910.84	520.09	182168.90	130.07	106.26
2008	834.45	476.47	166889.00	119.16	97.35
平均	914.31	522.07	182862.48	130.56	106.67

1.2 减排效应计算

根据王革华、张培栋等人^[3-4]的 CO₂ 排放量的计算方法为依据, 计算中国农村沼气消费带来的减排效应, 即沼气替代的薪柴的燃烧排放量与沼气燃烧排放量之差。

沼气燃烧的 CO₂ 排放量计算方法为:

$$C_{bg} = BG \times 0.209 (\text{热值, TJ/万 m}^3) \times 15.3 (\text{碳排放系数, t/TJ}) \times 44 / 12 = 11.725 BG$$

公式中 C_{bg}——燃烧沼气的 CO₂ 排放量, t; BG——沼气的消耗量, 万 m³。

薪柴燃烧的 CO₂ 排放量计算方法为:

$$C_w = W \times 45\% (\text{含碳系数}) \times 87\% (\text{碳氧化率}) \times 44 / 12 = 1.436W$$

公式中 C_w——燃烧薪柴的 CO₂ 排放量, t; W——是薪柴的消耗量, t。

由上面两个公式可知, 燃烧 1000kg 的薪柴可排放 1436kg 的 CO₂, 燃烧 1m³ 沼气排放 1.1725kg 的 CO₂。由此可计算出 2000 年至 2008 年农村沼气替代 5% 薪柴消费的减排情况。

表 3 农村沼气替代 5% 薪柴消费的减排情况

年份	替代薪柴量		所需沼气体量		CO ₂ 减排量 (万 10 ³ kg)
	实物量 (万 10 ³ kg)	排放 CO ₂ 量 (万 10 ³ kg)	实物量 (万 m ³)	排放 CO ₂ 量 (万 10 ³ kg)	
2000	705.05	1012.45	141010	165.33	847.12
2001	854.41	1226.93	170882	200.36	1026.57
2002	998.36	1433.64	199672	234.12	1199.53
2003	1018.78	1462.97	203756	238.90	1224.06
2004	1054.60	1514.41	210920	247.30	1267.10
2005	902.76	1296.36	180552	211.70	1084.67
2006	949.58	1363.60	189916	222.68	1140.92
2007	910.84	1307.97	182168	213.60	1094.37
2008	834.45	1198.27	166890	195.68	1002.59
平均	914.31	1312.95	182862	214.41	1098.54

上表说明, 如果农村生活能源消费中用沼气替代薪柴 5%, 即用沼气 18.29 亿 m³ 替代 914.31 万 t 的薪柴, 年均减排 1098.54 万 tCO₂。根据 CDM, 按照 10 美元 / t CO₂ 来计算, 沼气替代薪柴减排 CO₂ 大约可带来收益 1.09 亿美元 / 年。

森林是维护和改善生态环境重要的环节。据有关资料报道, 全球森林面积虽然只占陆地总面积的 1/3, 但森林植被区的碳储量几乎占陆地碳库总量的 1/2^[5]。森林植物通过光合作用吸收大气中的 CO₂ 并将其固定在植被或土壤中, 从而减少该气体在大气中的浓度。这也是国际社会对森林吸收 CO₂ 的汇聚作用越来越重视的原因。据调查, 中国的森林总面积为 1.377 亿 hm², 每年合理提供薪柴量约在 1.5 亿 t 以上, 折标煤 86mt^[6]。由表 2 的数据可知, 用沼气替代的薪柴, 相当于平均每年保护了 106.67 万 hm² 的森林, 按照华南植物园周国逸研究员在学术界首次计算出每公顷森林一年可净吸收 500kg 碳计算, 通过发展沼气替代薪柴每年可产生近 53.34 万 t 的碳汇。

1.3 沼气替代薪柴的减排效应预测

根据邓可蕴对我国农村中长期能源需求的加强方案预测, 2015、2020、2050 年沼气及薪柴的需求情况如下:

表 4 2015、2020、2050 年我国农村地区生物质能源需求预测

年份	沼气		薪柴	
	产气量/ 万 m ³	折标煤 (万 10 ³ kg)	需求量 (万 10 ³ kg)	折标煤 (万 10 ³ kg)
2015	2330000	1663.62	11908.93*	6800*
2020	3039400	2170.13	8404.553	4799
2050	7378000	5267.89	2511.384	1434

数据来源: 根据 (邓可蕴, 2000)^[7] 及农业生物质能产业发展规划 (2007-2015 年) 的数据整理计算, (* 缺原始数据, 用 2010、2020 年的平均值代替)



若假定2015年沼气替代薪柴的比例为10%、2020年替代比例为15%、2050年替代比例为20%，则根据表4可得下表数据：

表5 农村沼气消费减排预测

年份	替代薪柴量 (万10 ³ kg)	所需沼气量 (万m ³)	CO ₂ 减排量 (万10 ³ kg)	林地保护 面积 (万hm ²)
2015	1190.99	238198	1430.97	138.95
2020	1260.68	252136	1514.71	147.08
2050	502.28	100456	603.49	58.60

按10美元/t CO₂来计算，2015、2020、2050年沼气替代薪柴减排CO₂可带来收益依次为1.43亿、1.51亿、0.60亿美元；按每公顷森林一年可净吸收500kg碳计算，保护林地所产生的碳汇分别为69.48万t、73.54万t、2.93万t。

2 农户沼气设施建设成本效益分析

成本效益分析分为财务评价和国民经济评价。农户作为投资者主要考虑设施建设能否切实从经济上给自己带来效益，也就是说财务评价是他们首先关心的事。至于设施建设带来的生态效益和社会效益，属于国民经济评价的内容，而对于农户来说则属于外部性（或外溢性）效益。本文以中国沼气大省湖南省的360户农户2010年的调查数据为基础进行分析。

2.1 分析方法

2.2 分析评价

2.1.1 净现值

财务净现值是反映项目在建设期内和生产服务年限内获利能力的综合性动态评价指标，能比较全面地反映方案的经济效益状况。具体计算公式如下：

$$NVP = \sum_{t=0}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t}$$

$$NVP_s = \sum_{t=0}^T \frac{(B_{st} - C_{st})}{(1+r)^t}$$

其中，NPV为农户角度的财务净现值，t为沼气工程使用年限，B_t为建设沼气工程所带来的农户收入内容，C_t为建设、运行以及维护沼气工程所花费的成本内容。NPV_s为社会角度的经济净现值，B_{st}为社会角度的收益内容，包含了正的外部性带来的收益，如减少污染排放的效益估价折算；C_{st}为社会角度的成本内容，包含了负的外部性带来的成本，如沼气设施由于占地而造成对土地的破坏。r为折现率。

2.2.2 内部收益率

内部收益率指标等于上述净现值方程式为零时的折现率，或项目的累计增量效益现值等于累计增量费用现值时的折现率。它反映项目所占用资金的盈利能力，项目的内部收益率越高，其经济性也就越好。内部收益率具体计算公式如下：

$$NVP = \sum_{t=0}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = 0 \Rightarrow IRR = r$$

$$NVP_s = \sum_{t=0}^T \frac{(B_{st} - C_{st})}{(1+r)^t} = 0 \Rightarrow IRR_s = r_s$$

表6 池容10m³沼气池的收益及成本 单位：元

项目	收益内容				成本内容					
	年沼气 收益	年沼肥 收益	其他 收益	补贴收益	年环境 收益	沼气池 建造成本	三改	运行 成本	年折旧 费用	补贴 支出
财务评价										
补贴户	864	98.2	700	1000	—	3450	6550	65	136	—
未补贴户	864	98.2	700	—	—	3450	6550	65	136	—
社会经济评价										
补贴户	864	98.2	700	—	162.6	3450	6550	65	136	1000
未补贴户	864	98.2	700	—	162.6	3450	6550	65	136	—

表7 池容10m³沼气池的成本效益分析 单位：元

项目	净现值 NPV	内部收益率 IRR	补贴量±10%		环境收入±10%	
			NPV(-)	NPV(+)	NPV(-)	NPV(+)
财务分析						
补贴户	3622.11	19%	3562.16	3681.84	/	/
未补贴户	2732.12	17%	/	/	/	/
社会经济分析						
补贴户	3730.23	21%	3612.23	3810.21	3631.74	3828.07
未补贴户	3812.21	23%	/	/	3711.67	3912.33



以上分析表明:第一,无论是否补贴户,财务净收益现值和经济净收益现值都为正数,表明建造沼气工程从农户角度和社会角度都是经济上可行的;第二,对于未获补贴户,经济净收益现值大于财务净收益现值,经济内部收益率也要大于财务内部收益率,这说明了政府补贴的必要性。第三,对于获补贴户,经济净收益现值和经济内部收益率仍要大于财务净收益现值和财务内部收益率,况且我们只测算了环境效益中的极小部分,这说明政府补贴量远远不足以补偿沼气的正外部性。第四,从农户角度来看,获补贴户的财务净收益现值和财务内部收益率均要大于未获补贴户,这表明政府补贴对于沼气工程建造的财务指标有明显的正效应。补贴量的财务敏感性分析也证明了这一点。第五,环境收益的敏感性分析说明其对是否补贴户的经济净现值的影响都很明显。随着环境收益分析体系的健全,我们会更加全面地体会到沼气建设的重要性和政府对沼气建设正外部性实施补贴的必要性。

参考文献

- [1] 周爽,崔玉柱,何晓红.我国薪柴的现状、潜力和前景分析[J].林业勘察设计,2004,4:30.
- [2] 刘宇,匡耀求,黄宁生.农村沼气开发与温室气体减排[J].中国人口·资源与环境,2008.18(3),48-53.
- [3] 张培栋、王刚.中国农村户用沼气工程建设对减排CO₂、SO₂的

贡献:分析与预测[J].农业工程学报,2005,21(12):1447-151.

- [4] 王革华.农村能源建设对减排SO₂和CO₂贡献分析方法[J].农业工程学报,1999,15(1):169-172.
- [5] 谢晓慧,林郁,李茂萱,等.云南农村沼气建设与碳汇交易研究:基于减少薪柴消耗对减排CO₂贡献分析[J].西南农业学报,2008年,21(3):870-874.
- [6] 王效华,冯祯民.中国农村生物质能源消费及其对环境的影响[J].南京农业大学学报,2004,27(1):108-110.
- [7] 邓可疆,贺亮.中国农村地区中长期能源需求预测[J].中国工程科学,2000,2(7),16-21.

基金项目

“农村沼气的减排效应和成本效益分析”是国家自然科学基金(编号:71173221),农村能源综合建设项目(编号:020)的一部分,本论文的工作得到了国家自然科学基金会的资助。

作者简介

朱立志,中国农业科学院农业经济与发展研究所,农业资源与环境经济研究室主任,高级研究员、博导。专业领域:农业资源环境经济、农业区域开发、农业污染防治、农业与农村能源。在国内外公开发表论文76篇。著作10本,其中独著1本:《农业节能减排方略》第一作者1本:《中国农村能源消费问题研究》。地址:北京市海淀区中关村南大街12号,10081, E-mail: zhulz@mail.caas.net.cn;叶晗,中国农业科学院农业经济与发展研究所,博士, E-mail: yhb0002163.com.