

村镇住宅太阳能/沼气联合采暖系统的经济性分析

李文博¹, 吕建¹, 解群², 于彬³

(1. 天津城市建设学院 能源与机械工程系, 天津 300384; 2. 海南元正建筑设计咨询有限公司 天津分公司, 天津 300374; 3. 天津市筑土建筑设计有限公司 设备室, 天津 300201)

摘要: 通过对农村采暖现状的实地调研,设计了太阳能/沼气联合采暖系统,并对其在寒冷地区农村住宅中应用的经济性及影响因素进行了相关分析,指出太阳能/沼气联合采暖在农村地区的应用有其自身的优势及发展前景.

关键词: 太阳能; 沼气; 联合采暖; 经济性

中图分类号: TU832.17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6853(2010)02-0118-04

随着国家经济的快速发展,能源短缺问题日益严重.我国北方大部分地区冬季寒冷,一年中近 1/3 时间属采暖季.由于传统的采暖手段既严重影响了空气质量,又加剧了我国能源的紧张程度^[1].因此,为了解决农村的能源问题,保护生态环境,必须调整农村的能源结构形式.为此,国家提出了建设社会主义新农村的方针,所以研究使用清洁的可再生能源——太阳能与沼气相结合的采暖系统有着重要的现实意义.

1 寒冷地区村镇住宅采暖现状

随着农民生活水平的不断提高,冬季北方农村住户所使用的采暖方式中,火炉和火炕总数虽仍占一定比例,但已不再占绝对主导地位,户式集中空调、分体式空调、燃气采暖炉、电暖气等方式的出现是农村采暖方式向多样化方向的发展,这也体现了农民在思想上已经开始转变,不再一味地采用传统的采暖方式,而是开始接受新的科学技术与产品.

2 太阳能/沼气联合采暖技术

2.1 太阳能采暖的优越性

我国有丰富的太阳能资源,有 2/3 以上地区的年太阳能辐照量超过 5 000 MJ/m²,年日照时数在 2 200 h 以上.

与城市相比,农村利用太阳能的环境优势主要体

现在大气透明度上.从我国太阳能分布地区来看,北方大于南方,农村大于城市;从空气洁净程度来看,城市比农村受到的环境污染大.虽然大气中所含的气溶胶、烟尘粒子较多,增加了太阳散射辐射量,但散射辐射量的增加往往不能弥补直接辐射量的损失^[2].

在华北地区村镇住宅建筑中,是以传统民居四合院的形式为主要方式.建筑密度小,层数以一层为主,住宅类型多为独户式有院,空间余地很大,这充分满足了建筑间的日照间距,为太阳能的利用提供了有利的保障.

2.2 联合采暖技术的可行性

太阳能集热和沼气发酵是两项成熟的技术.受自然条件限制,在连续阴雨天以及夜晚热量不足时,辅助采暖是太阳能采暖系统不可忽视的问题之一.同样,沼气的发酵也受室外温度条件限制,无法连续稳定进行.

Roediger(1976)、斐佛(John T.pfeffer)^[3]等许多学者系统地研究了温度对不同原料沼气发酵产生的影响,指出若温度介于 30~60℃之间,沼气发酵的每日产气效率和每日负荷量并非与温度的增高呈正相关,而是在这个范围之内出现了两个产气高峰:一个在 37℃左右,另一个在 52℃左右;前者叫中温发酵,后者叫高温发酵.由于不同研究者采用的发酵原料不同,结果不尽相同.概括地讲,一个高峰介于 30~40℃之间;另一个高峰介于 50~60℃之间.在这两个最适宜的发酵温度区间,是有两个不同的微生物类群

收稿日期: 2010-01-11; 修订日期: 2010-03-09

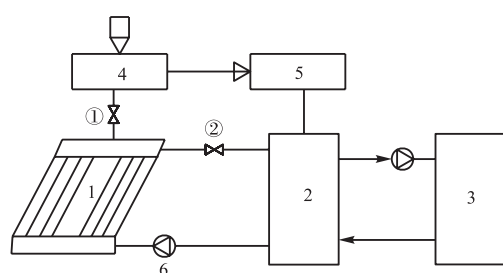
基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BAJ08B10-04)

作者简介: 李文博(1986—),女,天津人,天津城市建设学院硕士生.

参与作用. 中温发酵和高温发酵相比较, 后者比前者在一定容积的发酵容器中可能处理的有机物量和气体产量高 2~2.5 倍^[3]. 目前平板式、真空管式太阳能集热系统的集热温度能达到 60℃, 显然太阳能集热装置与沼气发酵工作温度是相匹配的. 因此, 太阳能集热器的集热温度从理论上充分满足沼气发酵所需的温度条件, 而沼气的发酵与储存也保证了太阳能采暖的稳定性.

2.3 太阳能/沼气联合采暖系统

笔者所设计的太阳能/沼气联合采暖系统模型如图 1 所示 (该系统将被应用于社会主义新农村示范工程中).



1. 太阳能集热器; 2. 蓄热水箱; 3. 热用户; 4. 沼气池; 5. 燃气锅炉; 6. 集热器循环泵; ①和②为阀门

图 1 太阳能/沼气联合采暖系统模型

(1) 日照充足时, 利用太阳能集热器 1 吸收太阳能, 并将其转化为热水热能. 一方面热水流经蓄热水箱 2 储存并供用户 3 采暖, 然后再回流到蓄热水箱 2 内升温; 另一方面流经沼气池 4, 用以沼气发酵.

(2) 日照不足时, 关闭阀门②, 利用蓄热水箱 2 储存的热水加热沼气池, 所产生的沼气点燃燃气锅炉 5, 从燃气锅炉出来的热水再与蓄热水箱 2 中的水进行热交换, 蓄热水箱中的水升温后一路用以发酵沼气, 以此循环. 另一路供给用户 3 采暖, 最后仍回流到蓄热水箱内升温.

3 太阳能/沼气联合采暖系统经济性分析

3.1 综合能源价格法

能源价格^[4]指的是购买一定种类的能源费用. 综合能源价格的含义是有效使用年限内初投资和使用费用的累计综合值与在此期间所提供能量总和的比值. 考虑到资金的动态性, 即不同时期支出货币的价值是不相等的, 因此综合能源价格法是将不同时期投入的资金统一折现为初投资年现值的方法.

综合能源价格的现值表达式为

$$M = \frac{V + \sum_{t=1}^n \frac{Z_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n E_t}$$

式中

M ——综合能源价格现值, RMB/MJ;

V ——初投资, RMB;

n ——系统有效使用年限;

Z ——第 t 年使用费用, RMB;

i ——银行存款年利率;

E_t ——第 t 年提供能量总计, MJ.

3.2 沼气价值计算

产出的价值^[5]以与它等量有用能的农家燃料的费用代替, 按下式计算

$$\text{沼气的价值} = \frac{\text{沼气的热值} \times \text{沼气灶热效率}}{\text{被替代燃料热值} \times \text{被替代燃料灶热效率}} \times \text{被替代燃料的价格}$$

为使该评价具有普遍性, 沼气的热值为 22 935 kJ/m³, 密度为 1.12 kg/m³, 燃气锅炉热效率取 85%; 标准煤热值 29 300 kJ/kg, 燃煤锅炉热效率取 60%, 所选地区标准煤价为 0.85 元/kg. 则可算出沼气的折合价值为 1.06 元/m³.

3.3 不同方案经济分析比较

取太阳能集热系统 900 元/m², 所选地区民用电价为 0.49 元/(kW·h), 计算年限为 15 a.

(1) 取建筑面积 150 m², 采用间接式太阳能低温热水地板辐射采暖, 24 h 运行. 根据面积热指标 $q_f = 50 \text{ W/m}^2$, 建筑采暖期热负荷即为 7 500 W. 用所选寒冷地区 1 月份的倾斜表面月平均日太阳总辐射量来选择集热器面积, $H = 14.725 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 平均日照小时数为 8 h, 则每平方米太阳能集热器的集热量为 511.3 W/m², 进而选定太阳能集热器面积为 29 m².

(2) 辅助热源热负荷 = 建筑物采暖热负荷 - 太阳能提供热负荷. 经计算, 建筑物采暖日热负荷为 648 MJ/d, 太阳能提供日热负荷为 222.1 MJ/d, 即辅助热源日热负荷为 426 MJ/d. 分别折合成日产沼气体量为 18.6 m³/d, 日耗电量为 118.3 kW·h.

(3) 太阳能系统初投资、不同方案年运行费用分别见表 1 和表 2.

表 1 太阳能系统初投资 元

太阳能集热器	集热器基础	蓄热水箱	地板采暖管材及敷设费用	其它设备
26 100	3 960	9 000	5 500	1 000

表2 不同方案年运行费用表 元

太阳能+沼气	太阳能+电	电加热器	燃煤锅炉
400	6 956	10 484	2 256

沼气池建池费用取 1 680 元,管理费用与维修费用及其他相关费用每年共 400 元,电加热器价格为 2 000 元,燃煤锅炉价格为 1 200 元,暖气片等费用为 2 500 元。

太阳能+沼气系统的运行费用包括管理与维修费用以及运行系统所需费用。太阳能+电系统运行费用与电加热器运行费用为电费,燃煤锅炉的运行费用为买煤的费用。

(4) 计算结果比较. 不同采暖方案的比较结果见表 3。

表3 不同采暖方案经济性比较

供暖方案	设备初投资/元	综合能源价格/元·MJ ⁻¹	联合热水供应系统的综合能源价格/元·MJ ⁻¹
太阳能+沼气	45 140	0.042 3	0.024 8
太阳能+电	41 460	0.097 3	0.084 8
电锅炉	2 000	0.094 8	
燃煤锅炉	3 700	0.023 2	

注:表中热水用量按每人日用水量 100 L 计算。

太阳能/沼气联合系统与热水供应系统联合后的综合能源价格的计算过程如下。

非采暖期建筑热水供应系统的日耗热量公式为

$$Q_d = q_r c_p (t_r - t_L) m / 86\,400$$

式中: q_r 为热水用水定额,取每人每日用水量为 100 L; c_p 为水的比热容,为 4 187 J/(kg·°C); t_r 为热水温度,取 60 °C; t_L 为所选地区地下水温,取 13 °C; m 为用水计算单位数,取 5 人。通过计算得出 Q_d 为 87.93 MJ/d。

选取该地区非采暖期中水平面太阳总辐射平均日辐照量 $H_T=12.03$ MJ/(m²·d),而 29 m² 的集热器非采暖期提供的日热量为 $29 \times 12.03 \times 52\% = 181.41$ MJ/d > 87.93 MJ/d,故在非采暖期能满足用户的生活用水。

采暖期年热负荷为 77 760 MJ,非采暖期年平均水平面日太阳总辐射量 16.248 MJ/(m²·d),则年热负荷为 $16.248 \times 29 \times (365-120) \times 52\% = 60\,029.45$ MJ,年总负荷即为 137 789.45 MJ。综合能源价格为

$$M = \frac{45\,140 + 600 \times 15 / (1 + 2.5\%)^{15}}{15 \times 137\,789.45} = 0.024\,8 \text{ (元/MJ)}$$

从以上热源方案经济比较可以看出,采用太阳能/沼气联合采暖方案的综合热价相对较低,与热水供应系统联合后综合能源价格下降显著。

3.4 影响太阳能/沼气联合采暖系统经济性的因素分析

3.4.1 集热器价格

综合能源价格与集热器价格关系如图 2 所示。

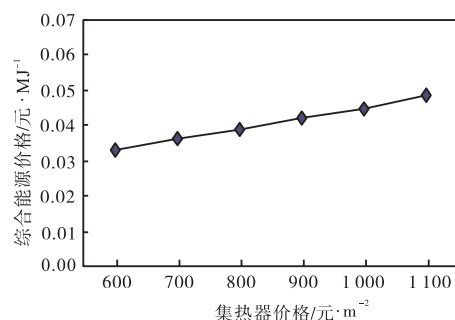


图2 集热器价格与综合热价关系图

由图 2 可知:综合热价与集热器的价格基本呈线性关系。可见,随着我国经济的发展以及太阳能产业、集热器产业的快速发展,在集热器利用率提高的同时其价格将会逐渐降低,这也就意味着太阳能采暖系统在经济上会越来越占有优势。

3.4.2 折合沼气价格

沼气的产出效益可用沼气的年产气量×沼气的折合价格得到。例如:在采暖期每日所需沼气体积为 18.3 m³/d,则可算出采暖期沼气年产出效益为 2 327.76 元,可见效益显著。故在保证沼气产气量的基础上,随着沼气折合价格的上涨,沼气的产出效益会愈加突出。在生物质资源丰富的农村,有很多可利用的免费资源用来发酵,另外利用太阳能集热技术也为沼气发酵提供了一个很稳定的发酵环境。低投资加上充足的发酵量,在一定程度上将提高太阳能/沼气联合采暖系统的经济性。

3.4.3 热水用量的影响^[6]

太阳能系统除在采暖期提供采暖热水外,也可以非采暖期用来提供生活用热水,由此提高了太阳能系统的利用率。若原来的基础上再加上提供热水系统,则太阳能/沼气联合系统的综合能源价格变化趋势如图 3 所示。随着生活用水的增加,综合能源价

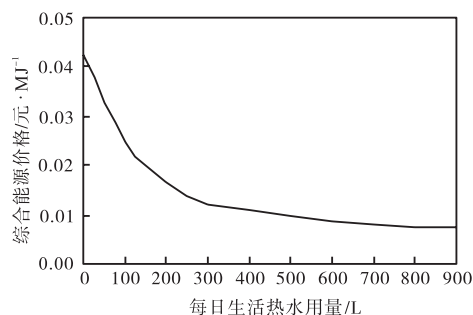


图3 热水用量对采暖系统经济性的影响

格将下降,并在达到某一程度后下降趋势变缓。价格降低的原因就在于热水系统的经济性弥补了采暖系统的不经济。可见单纯的采暖系统相对采暖与生活热水联合系统的经济性差。

4 结 论

(1) 太阳能/沼气联合采暖系统相比其他几种采暖形式有着一定的优势。

(2) 影响太阳能直接采暖系统经济性的主要因素是集热器的高价格,在现阶段选用大面积的太阳能集热器只用于太阳能采暖系统,设备的初投资较大,应力争提高集热器的效率或降低其价格。

(3) 太阳能/沼气采暖与热水供应系统相联合的经济性要好于单独用于供暖系统的,若再将储存的沼气用于炊事则会进一步降低该系统的综合热价,提高其经济性。

(4) 虽然燃煤锅炉目前在经济上有很大优势,但是随着经济的发展,环境污染日益突出,这种传统的采暖形式将会逐渐被新的采暖形式所取代;而太阳能/沼气联合采暖系统由于初投资较大,在农村地区尤其是偏远贫困地区的推广应用势必存在较大的困

难,然而太阳能和沼气作为清洁能源,有着显著的生态、环境效益,对改善农村地区的生活环境也有着相当积极的作用。

太阳能/沼气联合采暖系统符合可持续发展的要求,符合国家环保政策,利国利民,一次投资,长期受益。同时该系统的节能、环保和安全又与社会发展潮流相符合,若将其广泛应用,会获得良好的社会效益。

参考文献:

- [1] 贺平,孙刚. 供热工程[M]. 北京:中国工业出版社,2003.
- [2] 周春艳. 太阳能技术在东北地区农村住宅中的应用策略研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.
- [3] 吴相淦. 农村能源[M]. 北京:农业出版社,1988:130-165.
- [4] 李军. 家用太阳能热水器的经济性分析[J]. 太阳能学报,2002,23(5):564-570.
- [5] 王磊磊. 太阳能与生物质能互补的散热器采暖系统中室内热环境研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2007.
- [6] 于国清,叶海,马国彬. 主动式太阳能直接采暖系统技术经济分析[J]. 建筑科学报,2004,20(1):62-65.

The Economic Analysis of Solar/Biogas Combined Heating System in Villages

LI Wen-bo¹, LÜ Jian¹, XIE Qun², YU Bin³

(1. Department of Energy Technology and Mechanical Engineering, TIUC, Tianjin 300384, China; 2. Hainan Yuanzheng Architectural Design Co., Ltd., Tianjin 300074, China; 3. Tianjin Archiland Architecture Design Co., Ltd., Tianjin 300201, China)

Abstract: Through investigating the heating status in villages, this paper designs the solar/biogas combined heating system, and then it analyzes its application to rural housing in cold regions and discusses its economic efficiency and influencing factors. Finally this paper points out its advantages and prospects in rural areas.

Key words: solar energy; biogas; solar/biogas combined heating; economic efficiency