

生态日光温室新能源补给系统的设计分析

于 威, 王铁良, 刘文合, 白义奎, 佟国红

(沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要: 新能源补给系统是生态日光温室的重要组成部分, 用以保证寒冷地区冬季日光温室正常生产和农户日常生活用能, 同时减少常规能源的使用。现阐述了该系统的组成、运行方式和参数的设计过程, 分析了 6 种不同太阳能贡献率的新能源补给系统的经济效益和环境效益。结果表明: 当新能源补给系统全部由太阳能提供能源时, CO_2 年排放量为 0, 与使用采暖炉做比较, 每年可减少 CO_2 排放 15 684.79 kg, 与使用电能做比较, 每年可减少 CO_2 排放 51 773.16 kg。与使用常规能源相比, 该系统具有运行费用低, 节能减排的特点。

关键词: 生态日光温室; 太阳能; 沼气; 地温采暖; 效益分析

中图分类号: S 626.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2012)23-0045-04

生态日光温室是基于辽沈系列日光温室的合理结构, 辅以新能源补给系统、集雨利用系统等, 利用绿色可再生能源, 辅助日光温室生产和农户生活, 以期最大限度的减少常规能源使用的生态型节能日光温室。

日光温室是具有我国特色的温室结构形式, 在我国应用广泛, 特别是在东北地区农作物的越冬生产中发挥着重要的作用。随着世界常规能源的短缺和碳排放量的增加, 节能减排已是科研的重要方向之一。目前国内低温地板辐射采暖技术在建筑行业中已有较为广泛的研究和应用^[1-4], 地温亦是影响日光温室内作物冬季生长的关键因素之一, 同时土壤本身也是一个良好的大体积蓄热体。因此, 温室加温系统利用土壤蓄热引起了专家们的重视^[5-7]。太阳能、沼气能的应用技术也日益发展, 国内外许多专家、学者设计了太阳能供暖系统^[8-10], 并将太阳能与地面采暖相结合^[11-16], 或是单独利用沼气热水系统给日光温室土壤加热^[17], 这些研究都表明了太阳能和沼气能加热土壤, 对日光温室的小气候环境有良好的改善。但这些设计都只是考虑了日光温室农作物生产的需要。该试验设计将太阳能、沼气能与低温地板辐射采暖方式相结合作为生态日光温室的新能源补给系统, 并同时满足农户日常生活用能和农业生产

用能。

1 系统的总体设计

1.1 试验温室概况

生态日光温室结构为辽沈 I 型日光温室, 温室主体长 50 m, 跨度 8.5 m, 脊高 3.5 m, 后墙高 2.2 m。后墙结构由内向外依次为 240 mm 砖墙 + 120 mm 苯板 + 120 mm 砖墙; 后坡结构由内向外依次为 20 mm 厚松木板、150 mm 厚苯板(容重不小于 8 kg/m^3)、1:5 白灰炉渣找平 80 mm 厚、1:3 水泥砂浆抹面 25 mm 厚、SBS 防水卷材。前屋面覆盖无滴聚乙烯薄膜, 保温被上、下面层为高压聚乙烯编织布, 中间有 2 层丙纶针刺毡加 4 层牛皮纸。附属房大小为 $6.6 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$, 单层层高 3 m, 砖混结构为 370 mm 砖墙。

1.2 系统组成

生态日光温室新能源补给系统由沼气能利用系统、太阳能集热系统、蓄热系统、散热系统、辅助加温系统、控制系统 6 部分组成。系统总体构成见图 1。沼气能利用系统由沼气池、沼气热水器、户用沼气燃具、沼气灯、沼气电饭锅、管道等组成; 太阳集热系统由平板型太阳能集热器和循环管道、循环水泵、水表、水温传感器组成; 蓄热系统由蓄热水箱、管道、阀门组成; 散热系统由地热管道、水表、水温传感器组成; 辅助加温系统由沼气热水器、水泵、循环管道组成; 当太阳辐射强度不足、保温水箱温度低于控制温度时, 控制系统开启辅助加温系统, 由沼气热水器辅助加温。同时沼气热水器也为农户生活提供热水, 根据用户需要, 控制其工作提供生活热水。

1.3 散热管道的布置

散热管道埋于土壤中植物根茎深度以下的位置。

第一作者简介: 于威(1980-), 女, 博士, 现主要从事农业设施环境方面的研究工作。E-mail: ywuyuewei@126.com

责任作者: 王铁良(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 现主要从事农业设施环境方面的研究工作。E-mail: tieliangwang@126.com

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划资助项目(2011GAD12B03); 农业部东北设施园艺工程科学观测实验站资助项目(30201120)。

收稿日期: 2012-08-27

管道采用塑料管材铺设管路,常见的铺设形式有蛇型和回型。根据各铺设特点,针对生态日光温室形状,考虑实际铺设可行性和地温均匀性,采用双蛇型(往复型)。地下散热管道采用聚丁乙烯管(PB);埋深地下 30 cm,水平间距 20 cm。

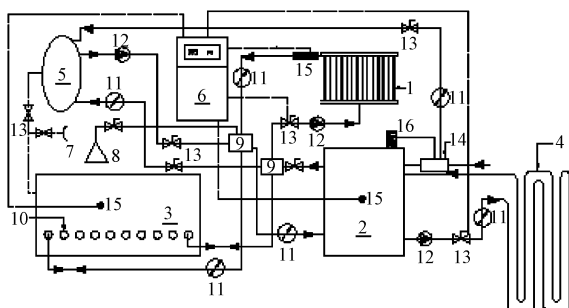


图1 生态日光温室新能源补给系统构成

注:1.太阳能集热器;2.蓄热水箱;3.沼气池;4.土壤/地面散热系统;5.沼气热水器;6.控制系统;7.户用沼气;8.生活热水;9.分水器;10.沼气池加温管道;11.液体流量计;12.水泵;13.阀门;14.补水电磁阀;15.水温控制传感;16.水位控制器。

Fig.1 Schematic diagram of new energy supply system for the ecological solar greenhouse

2 热工计算

温室系统的能耗主要有以下几项:(1)温室系统的热负荷,包括日光温室生产热负荷和农户生活附属房热负荷;(2)农户日常生活用热水、烧饭等生活用能;(3)维持沼气池中温发酵的热负荷。温室系统的能量补充主要是来自太阳能集热系统和沼气能利用系统。根据能量平衡有式(1): $Q_R + Q_Z = Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3}$,式中: Q_R :太阳能集热系统有效供热量(kJ); Q_Z :沼气能利用系统产热有效利用量(kJ); Q_{L1} :温室建筑热负荷(包括附属房)(kJ); Q_{L2} :农户生活用热能(J); Q_{L3} :沼气池中温发酵热负荷(kJ)。

2.1 温室建筑系统热负荷

选择一个相对最不利的自然条件,分别计算温室和附属房的采暖设计热负荷,简化计算,根据能量平衡原理,建立夜间室内热平衡方程,温室和附属房相同见式(2), $Q_{L1} = Q_T + Q_S + Q_L - Q_D$,式中: Q_T :围护结构散热量,kJ; Q_L :冷风渗透耗热量,kJ; Q_S :地面传热量(kJ);上面3个物理量的计算方法可参阅参考文献[18-21]。

室内设计温度,温室室内设计温度根据实际栽培作物生长发育所需要的温度指标而定,保证作物夜间生长所需最低温度,该设计取 15℃;附属房室内采暖设计温度,沈阳地区取 18℃。室外设计温度,根据建筑热负荷的室外设计温度选择,沈阳地区选取 -21℃^[22]。

2.2 农户生活用能

农户生活用能部分包括农户家庭成员日常生活用热水、烧饭等所需能量。根据我国能源统计数据,计算

如式(3): $Q_{L1} = 29.27 \text{ m} \cdot q_b \div 365$,m:户人口数,人; q_b :人均每年生活用能,kJ; q_b 依据 2010 年的《中国能源统计年鉴》查到,2009 年全国人均每年生活用能 254 kg 标准煤、城镇人均每年生活用能 336 kg 标准煤;农村人均每年生活用能 184 kg 标准煤;不同省份地区数据,可依据各省能源统计年鉴。1 kg 标准煤释放热量为 29.27 MJ。该试验按户有 5 口人,每人每年生活用能 254 kg 标准煤计算^[23]。

2.3 沼气池热负荷

沼气池发酵与产气量与沼气池温度有关,设计采用中温发酵,维持沼气池温度 30~35℃,产气率 0.4~0.9 m³/(m³·d)。计算公式如(4): $Q_{L2} = C_w \cdot \rho_z \cdot V_z \cdot (T_h - T_w)$, C_w :原料比热,kJ/(kg·℃),取 4.2 kJ/(kg·℃); ρ_z :沼气原料密度,kg/m³,取 1 kg/m³; V_z :沼气池体积,m³; T_h :中温发酵评价温度,℃,取 35℃; T_w :原料温度,℃,冬季沈阳地区原料温度近似取 0℃。

2.4 太阳能集热系统供热量

$Q_R = \eta_r \cdot I \cdot A \dots (5)$, η_r :太阳能集热系统热效率,根据经验值取 0.5; I :太阳辐射日平均辐射量,kJ/(m²·日),沈阳地区取 10 500/(m²·日); A :太阳能集热器有效采光面积,m²。计算得: $Q_R = 5 250 \text{ A}$, $Q_R = n \cdot Q_{L1}$, n :太阳能集热系统保证率,取大于 1 的系数,这里取 1.5。 $A \geq 0.05 V_z$ 。

2.5 沼气系统供热量

$Q_Z = q_z \cdot R_z \cdot \eta_z \dots (6)$, $R_z = V_z \cdot r_z \dots (7)$ 。 q_z :每单位体积沼气完全燃烧释放的热量;21 509 kJ/m³; R_z :沼气池产气量,m³/日; η_z :锅炉热效率,取 80%; V_z :沼气池体积,m³; r_z :产气率(单位池容积产气量),在中温下取 $r_z = 1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

2.6 蓄热器容积的计算

根据平衡条件式(8)确定蓄热水箱容积 V_s , $Q_R = \kappa \cdot \gamma \cdot V_s \cdot C_w \cdot (\Delta T_s) \dots (8)$ 。 κ :蓄热器效率,可取 80%; γ :水的比重,kg/m³,1 000 kg/m³; V_s :蓄热器容积,m³; C_w :水的比热,kJ/(kg·℃),=4.2 kJ/(kg·℃); ΔT_s :采暖系统的供回水温差,℃,20℃。

3 计算结果

根据以上热工计算,试验温室的新能源补给系统若全部由太阳能作为能源来源,则需要配置 280 m²太阳能集热器,若全部能源由沼气能提供,需要修建 54 m³沼气池。根据实际条件和自然资源状况,可取 2 种能源的不同配比组合,或称系统太阳能贡献率,即太阳能占系统总能源的百分比。

4 效益分析

4.1 经济效益分析

根据上述计算结果,分析 6 种不同太阳能贡献率的

新能源补给系统,不计人工管理和维修费用,分析其经济效益,并分别与使用常规能源燃煤或电能做比较,计算系统的投资回收期 and 成本。分析结果见表 1。

组合 1:新能源补给系统全部用太阳能作为系统能源,与使用燃煤做比较,系统的投资回收年限为 10 a,与使用电能做比较,系统的投资回收期为 6.8 a。按系统使用寿命为 20 a 计算,新能源补给系统分别可节约资金 18.78 万和 35.58 万元。当沼气贡献率增大时,投资回收期也随之缩短,节约资金量增大。分析其主要原因是目前太阳能供热系统的初投资费用较高,而沼气池的建设投入和运行成本相对较低,随着太阳能利用技术的不断进步,该问题会逐渐得到改善。

表 1 系统经济效益分析

Table 1 Economic benefit analysis of the system

组合	集热器	蓄热水	沼气池	太阳能	投资回收	投资回收	替代燃煤	替代电能
	面积 /m ²	箱容积 /m ³	体积 /m ³	贡献率 /%	年限(参煤) /a	年限(参电) /a	20 a 节约 资金/元	20 a 节约 资金/元
1	280	21.840	0	100	10	6.8	187 825	355 825
2	232	18.096	10	82	9	5.8	202 325	370 325
3	183	14.274	20	65	8	4.9	216 825	384 825
4	134	10.452	30	47	6	4.0	231 325	399 325
5	85	6.630	40	30	5	3.8	245 825	413 825
6	36	2.808	50	13	4	2.83	256 825	424 825

4.2 环境效益分析

能源消费所致的温室气体排放给气候变化和人类长远发展带来了无法估量的影响。目前主要采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)^[25]推荐碳排放计算方法,利用碳排放系数计算碳排放量。根据家用采暖炉燃煤、火力发电和沼气的碳排放系数(表 2),分别计算新能源补给系统 6 种不同组合方式的 CO₂ 排放量,并与传统锅炉燃煤或电能作为能源时所产生的 CO₂ 排放量作比较(表 3)。可见,利用新能源补给系统可以减少二

表 2 二氧化碳(CO₂)排放系数

Table 2 CO₂ exhaust coefficient

能源来源	沼气	采暖炉燃煤	火力发电
	/kg · TJ ⁻¹	/kg · TJ ⁻¹	/g · kW ⁻¹ · h ⁻¹
二氧化碳(CO ₂)排放系数	54 600	94 600	1 052.3

表 3 新能源补给系统二氧化碳(CO₂)年排放量及减排量的计算结果

Table 3 New energy supply system carbon dioxide (CO₂) emissions and reductions

组合	新能源补给系统			二氧化碳	替代锅炉燃煤	替代电能
	集热器面 积/m ²	沼气池体 积/m ³	沼气贡献 率/%	(CO ₂) 排放量/kg	系统 CO ₂ 减 排量/kg	减排量 /kg
1	280	0	0	0	15 684.79	51 773.16
2	232	10	18	1 629.493	50 143.667	50 143.667
3	183	20	35	3 168.459	12 516.331	48 604.701
4	134	30	53	4 797.953	10 886.837	46 975.207
5	85	40	70	6 336.919	9 347.871	45 436.241
6	36	50	87	7 875.885	7 808.905	43 897.275

氧化碳(CO₂)排放量,系统太阳能贡献率越高,CO₂ 排放量越小。当新能源补给系统全部由太阳能提供能源时,CO₂ 年排放量为 0,与使用采暖炉做比较,每年可减少 CO₂ 排放 15 684.79 kg,与使用做电能比较,每年可减少 CO₂ 排放 51 773.16 kg。

5 结论

生态日光温室新能源补给系统由太阳能和沼气能作为能源补充,可根据实际情况选择太阳能贡献率,设计系统参数。该系统减少了常规能源的使用,具有经济、节能、减排的特点。

参考文献

- [1] Laouadi A L. Development of a radiant heating and cooling model for building energy simulation software[J]. Building and Environment, 2004, 39: 421-431.
- [2] Dr Eng H A, Dr Eng MBA E C B. Energy analysis of a low temperature radiant heating system. Building [J]. Research Technological, 2004 (3): 197-209.
- [3] 韩荣山,由世俊,王海霞. 板式地板辐射供暖系统传热性能模拟研究[J]. 地热能, 2007(4): 3-6.
- [4] 于慧俐,茅清希. 低温地板辐射采暖系统的经济性分析[J]. 建筑热能通风空调, 2002, 21(2): 8-10.
- [5] 凌继红,张于峰,董颖,等. 低温热水地板辐射供暖系统的理论研究[J]. 工程热物理学报, 2002(21): 145-148.
- [6] 白义奎,李天来,张文基. 日光温室地基温度场数学模型及试验分析[J]. 北方园艺, 2010(13): 49-53.
- [7] 白义奎,迟道才,王铁良,等. 日光温室燃池-地中热交换系统加热效果的初步研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 178-181.
- [8] 王永维,梁喜凤,苗香雯,等. 温室地下蓄热系统换热管道流速分布与蓄热性能研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005, 31(3): 311-314.
- [9] 刘艳峰,王登甲. 太阳能地面采暖系统蓄热水箱容积分析[J]. 太阳能学报, 2009, 30(12): 1636-1639.
- [10] 李德坚,唐轩,殷志强,等. 温室太阳能供暖[J]. 太阳能学报, 2002, 23(5): 557-563.
- [11] 郑宗和. 太阳能供暖系统分析[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [12] 张海莲,熊培桂,赵利敏,等. 温室地下蓄集太阳热能的效果研究[J]. 西北农业学报, 1997, 6(1): 54-57.
- [13] 于威,王铁良,刘文合,等. 太阳能土壤加热系统在日光温室土壤加温中的应用效果研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2010, 41(2): 190-194.
- [14] 毛罕平,王晓宁,王多辉. 温室太阳能加热系统的设计与试验研究[J]. 太阳能学报, 2004, 25(3): 305-309.
- [15] 王顺生,马承伟,柴力龙,等. 日光温室内置式太阳能集热调温装置试验研究[J]. 农机化研究, 2007(2): 130-133.
- [16] 刘圣勇,张杰,张百良,等. 太阳能蓄热系统提高温室地温的试验研究[J]. 太阳能学报, 2003, 24(4): 461-465.
- [17] 李双双,端木琳,舒海文,等. 基于分层室温控制的太阳能热水低温地板辐射采暖系统模拟研究[J]. 建筑科学, 2011, 27(8): 61-65.
- [18] 韩少平,田斌,王红丽. 北方蔬菜温室及沼气加热系统的设计[J]. 农业机械学报, 2006, 37(9): 116-118, 111.
- [19] 刘晔,张喜明,马凤娟. 东北地区利用太阳能供暖可行性研究[C]// 全国暖通空调制冷 2004 年学术年会论文集, 2004.

春季沙尘天气变化对温室内主要环境因子的影响

张琦^{1,2}, 张娟¹, 轩正英¹, 阿不都·卡迪尔¹, 郑德明¹

(1. 塔里木大学 植物科学学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要:通过春季降雨、扬沙、沙尘暴等天气变化过程, 研究外界环境对温室内外光照强度、相对湿度、气温、地温等环境因子的影响。结果表明:春季各种灾害天气对温室内外环境因子产生显著影响。降雨、扬沙、沙尘暴等天气显著降低温室内外光照强度、空气温度和土壤温度;降雨增加温室内外相对湿度;扬沙降低温室外相对湿度, 增加温室内相对湿度;温室内气温降低幅度大, 而温室外温度降低程度较小。不同天气变化过程温室内外环境因子变化不一致。温室外光照强度高于温室内, 温室内相对湿度、气温、土壤温度均高于温室外, 存在明显的相关性。风沙天气应拉紧压膜线、清除尘土、人工补光, 改善温室内光照条件。

关键词:温室; 沙尘天气; 环境因子; 影响

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)23-0048-04

日光温室是北方冬季蔬菜生产的必备设施。温室是一个封闭的农业生态系统, 气温、地温、光照、湿度是

温室重要的气象因子, 共同影响作物的生长、发育, 进而影响作物的产量与品质。许多学者在温室环境因子方面做过一些研究工作, 如梁称福等^[1]研究了不同天气条件下温室内主要环境因子日变化规律, 研究了晴天、阴天、雨天条件下温室内外气温、地温、光照、空气相对湿度、绝对湿度等主要环境因子的日周期时空变化。王建勋等^[2]研究了冬季蔬菜种植的日光温室内温度和光照

第一作者简介:张琦(1964-), 男, 云南昆明人, 硕士, 教授, 现主要从事果树栽培生理研究工作。E-mail: zqzkytd@163.com.

基金项目:中国气象局公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201106025)。

收稿日期:2012-08-22

[20] 朱新荣, 刘加平. 关于底层地面传热系数的探讨[J]. 暖通空调, 2008, 38(5):105-108.

[21] 吴继臣. 关于采暖热负荷朝向修正的研究[J]. 低温建筑技术, 2001(4):40-42.

[22] 周长吉, 丁小明. 温室采暖设计室外计算温度取值方法探讨[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10):161-165.

[23] 国家统计局能源统计司与国家能源局综合局. 中国能源统计年鉴2010[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.

[24] 张全国. 沼气技术及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005:69-73.

[25] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[R]. Japan: IGES, 2006.

Design and Analysis of the New Energy Supply System for the Ecological Solar Greenhouse

YU Wei, WANG Tie-liang, LIU Wen-he, BAI Yi-kui, TONG Guo-hong

(College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

Abstract: New energy supply system was used for the ecological solar greenhouse in the cold winter of Chinese cold region. The system could provide the energy to the greenhouse for the regularly agriculture production and peasant living. The component, operation mode and the parameters of the new energy supply system were elaborated. On the basis of design, six classes as the ratio of solar energy were analyzed through the environmental benefit and economic benefits compared with its using the conventional energy sources before. The results showed that when new energy supply system all provided by solar energy, CO₂ emissions was zero, and compared with use vesto, could reduce CO₂ emissions 15 684.79 kg per year, and compared with use power, CO₂ emissions could reduce 51 773.16 kg per year. In conclusion, compared with normal heating system, it was an energy saving, environmental protection and economical system.

Key words: ecological solar greenhouse; solar energy; biogas; underfloor heating; benifi-analysis