

# 太阳能-水源热泵联合加热温室系统研究

郭仁宁<sup>1</sup>,朱德滨<sup>1</sup>,赵龙广<sup>2</sup>

(1. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2. 内蒙古京海煤矸石发电有限责任公司, 内蒙古 乌海 016000)

**摘要:**为了探索太阳能-水源热泵技术在设施农业领域的应用方法和发展潜力,寻求解决温室加温费用高、存在污染等问题的方法,对一种用于温室的太阳能和水源热泵联合加温系统进行了试验研究。结果表明:此项研究对太阳能-水源热泵这项新能源技术在农业领域的应用具有重要的意义,可减少连栋温室水源热泵加温系统一次性投资和运行成本,降低能源消耗,为太阳能水源热泵联合作为温室有效的加温系统提供了一定的理论依据。

**关键词:**太阳能;传热;水源热泵;温室

**中图分类号:**S210.3;TS44

**文献标识码:**A

**文章编号:**1002-2767(2012)05-0139-03

种植业产品是人类食物的主要来源,农业是工业和轻工业的基础。我国是农业大国,也是种植业大国,在全世界节能减排的氛围下,如何将节能减排应用在种植业中,减少植物生长过程中的动力能源消耗是一个迫在眉睫的问题。温度是温室环境中重要的调控参数,尤其是在气温较低的冬季,温室必须配置相应的加温设备,才能保证作物正常生长<sup>[1]</sup>,由于传统的加温依靠锅炉燃烧常规能源来满足温室的温度限制,锅炉供热只能将90%~98%的电能或70%~90%的燃料内能转化为热量,因此水源热泵要比锅炉加热节省2/3以上的电能,比燃料锅炉节省1/2以上的能量<sup>[2]</sup>;由于水源热泵的热源温度全年较为稳定,一般为10~25℃,其制冷制热系数可达3.4~4.4,与传统的空气源热泵相比要高出40%左右,且加温费用较低,环境污染较轻等。阜新是东北地区地热资源非常富集的地区,最高温度达71.1℃,地热类型为古潜山碳酸岩裂隙水,因此在阜新地区实行水源热泵是可行的<sup>[3]</sup>。

该文以温室的太阳能与水源热泵技术结合为加温系统,根据阜新地区不同的天气情况下的温度,对所研究的系统装置进行了温室加温试验,旨在为太阳能水源热泵联合运行的温室加温系统应用提供一定的数据资料。

## 1 温室系统

试验系统应用于阜新清河门地区的一栋温室,温室跨度10 m,东西长60 m,南北宽20 m,轴

线面积1 200 m<sup>2</sup>,温室内有不同品种蔬菜植物。

连栋温室内种植不同种类的蔬菜,每种蔬菜对温度的适应范围也不同。表1为连栋温室内不同蔬菜作物对温度条件的要求。

表1 不同蔬菜对温度的要求

Table 1 The temperature requirements of different vegetables

蔬菜种类 Vegetables	适应范围/℃ Adaption scope	白天/℃ Day	夜晚/℃ Night	最低温度/℃ The lowest temperature
黄瓜 Cucumber	10~40	25~32	10~18	8
番茄 Potato	8~32	20~25	14~16	5
茄子 Eggplant	8~35	20~30	14~18	5
辣椒 Pepper	10~35	23~28	14~18	6
豆角 Cowpea	13~35	20~25	5~20	8

通过对温室内各种蔬菜适应温度的分析,最终将温室白天的温度控制在20~30℃,夜晚温度控制在10~20℃,将温度控制在这个范围内从整体来看比较适合温室作物的生长。

### 1.1 系统原理

太阳能水源热泵连栋温室由四部分组成:集热系统、蓄热系统、辅助加热系统和供热系统(见图1)。

太阳能集热器和循环管道构成了温室的集热系统,供热系统由散热管道和供热泵组成。为了使温度变化平缓,在集热和供热系统之间设置有蓄热系统,蓄热水箱包括水源热泵的蒸发器和自动补水箱。当处于阴雪天气时太阳能不能完全供应所需要热量时开启水源热泵加热系统,同时还有传感器、电磁阀等辅助设备。

太阳能供热系统中所需地下水总量为:

$$m = \frac{Q_h}{c_p(t_{g1} - t_{g2})} \times \frac{COP - 1}{COP}$$

收稿日期:2012-03-15

第一作者简介:郭仁宁(1956-),男,辽宁省阜新市人,硕士,教授,硕士研究生导师,从事流体机械及热能工程研究。E-mail:guorenning123@163.com。

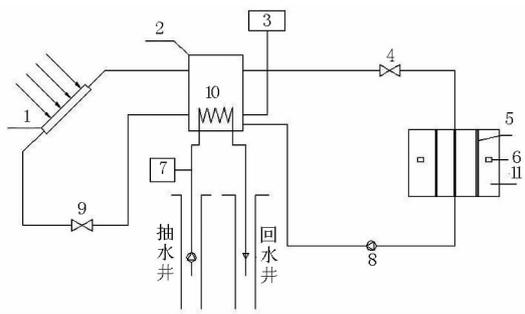


图1 系统原理图

Fig. 1 System diagram

1. 太阳能集热器;2. 蓄热水箱;3. 补水箱;4. 补热电磁阀;5. 散热管道;6. 温度传感器;7. 储水箱;8. 供热泵;9. 集热阀;10. 蒸发器;11. 温室

1. Solar energy collector;2. Heat storage tank;3. Filling water tank;4. Heat electromagnetic valve;5. Heat pipe;6. Temperature sensor;7. Storage water tank;8. Heat pump;9. Collection hot valve;10. Evaporator;11. Green house

式中,  $m$  为热泵机组按制热最大工况运行时所需的地下水总水量 ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ );  $t_{g1}$  为井水温度  $15^\circ\text{C}$ ;  $t_{g2}$  为回灌水水温,  $5^\circ\text{C}$ ;  $c_p$  为水的定压比热  $4.2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $Q_h$  为建筑物供暖热负荷; COP 为热泵机组的制热性能系数 3.5。

### 1.2 系统的运行方式

太阳能热泵联合加热温室, 供暖采用热水供热形式, 运行方式为: 白天太阳辐射强烈时, 开启集热阀, 集热器接受太阳辐射能, 不断与蓄热水箱换热, 提高蓄热水箱内的水温, 当温室需要供热时, 由水源热泵机组先将蓄热水箱内的水温加热至设定温度, 然后开启供热泵, 对温室进行供热。当阴天或者夜间时, 直接开启水源热泵对蓄热水箱进行补热, 当水箱达到预设温度时开启供热泵对温室进行供热。这个运行方式是将太阳能集热系统与水源热泵补热系统进行有机结合, 优先利用太阳能, 辅助热泵机组在不同天气条件下满足温室补热的要求。

## 2 温室系统加温效果分析

图2为阜新市2011年1月份某晴天与阴天的温度变化, 对试验温室进行了系统供暖效果试验, 分别选取晴天和阴雪天条件温室内的气温变化情况进行分析。

通过对试验温室的不同测量点的温度测量, 绘制出阜新地区在不同天气情况下, 试验温室的温度变化曲线。

图3为晴天的气温变化, 白天8:00~18:00, 温室的平均温度在  $22^\circ\text{C}$  左右, 主要受太阳辐射影响。18:00左右, 温度下降速度开始加快, 此时,

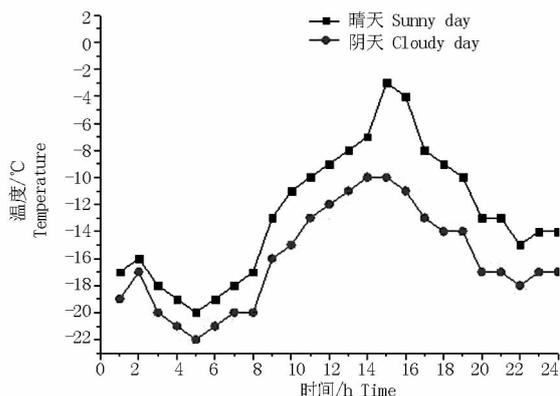


图2 1月阜新某阴天与晴天温度变化

Fig. 2 Ttemperature change of some cloudy and sunny day in January in Fuxin city

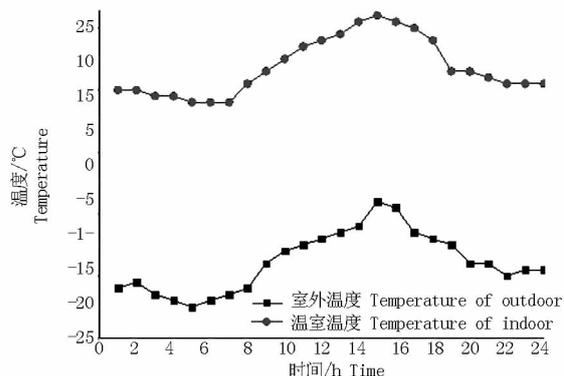


图3 晴天温室室内和室外温度变化

Fig. 3 Temperature change of greenhouse indoor and outdoor in sunny day

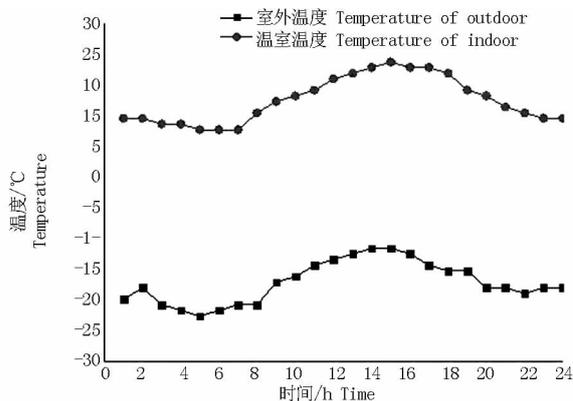


图4 阴天温室室内和室外温度变化

Fig. 4 Temperature change of greenhouse indoor and outdoor in cloudy day

太阳能热水箱内水温不再升高, 终温  $40^\circ\text{C}$ 。21:00左右, 热泵自行启动, 说明温室温度低于下限  $16^\circ\text{C}$ , 此时热泵系统处于启动/停止变化状态。使温室内部的温度处于恒定值。

图4所示为阴天的气温变化, 阴天时温室内部

温度变化不大,这是由于阴天太阳辐射量少,温室内的气温变化主要受热泵机组的影响。

上述结果表明,无论是晴天或阴天,试验温室内的温度均显著高于室外,都能够满足室内作物生长的需要。

### 3 经济性分析

一般说来,热泵比燃煤供热锅炉节能,但同时增加了设备投资费用<sup>[4]</sup>。必须对热泵经济效益做出综合评价,现从能耗费用方面进行分析。

热负荷计算公式<sup>[5]</sup>:

$$Q_h = \alpha A k (t_2 - t_1)$$

式中, $\alpha$ 为温度修正系数,取1.0; $k$ 为围护结构冬季(夏季)传热系数,取 $3 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^{-1}$ ;A为围护结构传热面积, $1\ 200 \text{ m}^2$ ; $t_2$ 为冬季温室室内设计温度 $23 \text{ C}$ ; $t_1$ 为冬季室外干球温度 $-20 \text{ C}$ ; $Q_h = 154\ 800 \text{ kJ}$ 。

能耗费用是指热泵或其它锅炉等加热同一热量时所需要的燃料费用,又称动力费用或加热费用<sup>[6]</sup>。现把用热泵、煤、太阳能热泵联合3种供暖方式,在1 h里加热所需相同热量 $154\ 800 \text{ kJ}$ 时所需的费用作一比较。

(1)单独采用热泵,所需功率:

$$W = Q / (860 \times \epsilon)$$

其中 $\epsilon = 4$ ,则 $W = 45 \text{ kW}$ ,阜新市农业用电单价为 $0.6 \text{ 元} \cdot (\text{kWh})^{-1}$ ,则电费为27元。

(2)采用煤,燃料用量为 $B = Q / (6\ 700 \times \eta) = 25.67 \text{ kg}$ ,若煤的价格为 $500 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ , $0.5 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,则煤费为12.8元。

(3)采用太阳能热泵联合系统,温室需要的热量分为太阳能供给与热泵机组供给,热泵供给热量为 $77\ 400 \text{ kJ}$ ,则热泵所需的电费为13.5元。

由以上预算可知:能耗费用为单独热泵 $>$ 太阳能热泵联合系统 $>$ 采用煤,采用太阳能热泵联

合系统的费用虽然比燃煤锅炉用的费用稍高,但是没有环境污染;单独使用热泵费用要比燃煤、太阳能热泵联合系统费用高出近一倍,总体来看太阳能热泵联合系统节能环保。

### 4 结论

该文介绍了适用于温室的新型太阳能水源热泵联合加温装置,并在阜新地区对装置系统的温室加热效果进行了试验研究,得出结论是:

(1)阜新地区地下水资源非常丰富,水温最高可达 $71.7 \text{ C}$ ,这为温室供热提供了良好的自然地理条件。

(2)系统性能测试结果表明,在阜新最冷月1月,太阳能集热器和蓄热水箱工作情况良好。

(3)从加温效果看,无论晴天还是阴天,太阳能水源热泵系统都能满足温室作物生长需求,且加温过程较稳定;系统充分利用清洁能源太阳能,太阳能集热器能够大大提高蓄热水箱内水的初温。

水源热泵温室利用系统是一套可适时控制温室内的温度,并且清洁无污染的温度调节系统。该研究从经济性和技术性两方面阐述了水源热泵技术在温室内温度调节方面应用的推广性,有一定的实用性。

#### 参考文献:

- [1] 蔡龙俊,鲁雅萍. 农业温室供热系统的研究与设计[J]. 建筑节能通风空调,2001(2):23-25.
- [2] 陈冰,罗小林,毕方琳,等. 温室太阳能与空气源热泵联合加热系统的试验[J]. 中国农业科技导报,2011,13(1):55-59.
- [3] 路爱平,许丕伟. 辽宁阜新市东梁区地热普查DR-1地热报告[R]. 沈阳:东北煤田地质局一〇七勘探队,2002.
- [4] 黄余余. 地源热泵系统效益分析研究[D]. 西安:西安理工大学,2010.
- [5] 陈鸿羽. 水源热泵的适用性研究分析[D]. 武汉:长安大学,2000.
- [6] 郁永章. 热泵原理与应用[M]. 北京:高等教育出版社,1993.

## Study on Solar Energy-Water Source Heat Pump Heating Greenhouse System

GUO Ren-ning<sup>1</sup>, ZHU De-bin<sup>1</sup>, ZHAO Long-guang<sup>2</sup>

(1. Mechanical Engineering College of Liaoning Engineering Technology University, Fuxin, Liaoning 123000; 2. Inner Mongolia Jinghai Gangue Limited Liability Company, Wuhai, Inner Mongolia 016000)

**Abstract:** In order to explore the application methods and development potential of solar energy-water source heat pump technology in facility agriculture, and to seek a solution to resolve problems existing in greenhouse production such as high heating cost and environment pollution, etc, an experiment was carried out on a solar-water source heat pump heating system used for greenhouse. The research has great significance to solar energy-water source heat pumps applying to agriculture, and the new system could be able to reduce the investment and running cost together with unnecessary of energy. Thus a theoretical basis is provided for the research on solar energy associated with water source heat pump heating system.

**Key words:** solar energy; heating; groundwater source heat pump; greenhouse