

文章编号:1004-3918(2013)06-0829-04

# 工程型太阳能热泵热水系统节能效益分析

肖菊<sup>1</sup>, 丁文萍<sup>2</sup>, 杨敏芝<sup>1</sup>

(1. 河南省科学院 能源研究所有限公司, 郑州 450008; 2. 河南省科技咨询服务中心, 郑州 450052)

**摘要:** 根据工程案例地区气象参数及太阳能资源特点,对已投入宾馆使用的太阳能热泵集中供热水系统进行节能效益分析。通过对太阳能热泵热水系统的年节能量,节省费用,系统增加的初投资的回收年限,以及太阳能热泵热水系统的环保效益进行综合分析。表明工程型太阳能热泵热水系统不仅具有很高的热效率和环境适应性同时具有较高的经济性,是一种理想的高品质供热水系统。

**关键词:** 工程型; 太阳能热泵; 节能量; 投资回报; 环保效益

中图分类号: TK 515 文献标识码: A

## Energy-saving Benefit Analysis of Engineering Type Solar Energy Hot Water System in Conjunction with Heat Pump

Xiao Ju<sup>1</sup>, Ding Wenping<sup>2</sup>, Yang Minzhi<sup>1</sup>

(1. Energy Research Institute Co. Ltd., Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450008, China;

2. Henan Technical Consultancy Centre, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** According to the engineering case region meteorological data and solar resource characteristics, the solar energy centralized heating system in Conjunction with heat pump used in the hotel is analyzed based on saving benefits. By means of comprehensive analyzing of annual amount of energy saving, cost saving, payback period for the increase of the initial investment, as well as environmental benefits of the solar energy heat pump hot water system, it is indicated that solar energy heat pump hot water system project not only has the very high heat efficiency and environmental adaptability but also has high economy efficiency. It is a kind of heating water systems of ideal high quality.

**Key words:** engineering type; solar heat pump; amount of energy saving; investment return; environmental benefits

我国人口众多,人均能源资源占有量低于世界人均值,由于石油和天然气资源的不足,以煤炭为主的能源供应造成了严重的环境污染,我国的CO<sub>2</sub>排放量已居世界第二位。随着国内城市能源结构的调整,住宅小区、集体宿舍、酒店宾馆等人口密集区域对规模化的太阳能热利用需求迅速增加。太阳能热泵热水系统是一种使用清洁能源的新型节能系统,将热泵技术与太阳能热水系统有机地结合起来,实现高效、全天候运行。太阳能热泵热水系统最重要的特点是充分利用太阳能,节约常规能源的消耗,但太阳能热泵热水系统初期的投资较高。因此对太阳能热水系统进行节能效益分析非常重要,本文从太阳能热泵热水系统的年节能量,节能费用,系统增加的初投资回报年限,以及太阳能热泵热水系统的环保效益进行综合分析。

### 1 工程系统所在地气象参数及系统结构原理概况

工程所在地为郑州市中心的某宾馆五楼顶平面屋顶,郑州市地理位置:纬度 34°43', 经度 113°39'。宾馆有客房 100 间,最高入住率 150 人/d, 24 h 全日供应热水,按人均日用水量 120 L 计算,日用热水量约为 18 t。

收稿日期: 2013-01-11

基金项目: 河南省科技攻关项目(9412009Y0008)

作者简介: 肖菊(1977-),女,河南信阳人,助理研究员,主要从事可再生能源方面的科学研究工作。

郑州市月气象参数及年气象参数如表1,2 所示<sup>[1]</sup>.

表 1 郑州市月气象参数

Tab.1 Monthly meteorological parameters of Zhengzhou

气象参数	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
月平均室外气温/°C	-0.3	2.2	7.8	14.9	21.0	26.2	27.3	25.8	20.9	15.1	7.8	1.7
太阳总辐射月均日辐照量/MJ/(m <sup>2</sup> ·d)	8.68	10.53	13.13	15.14	18.69	19.60	16.87	16.10	13.17	11.30	8.82	7.78
月日照小时数/h	149.8	143.7	170.2	209.5	241.4	236.7	206.8	206.6	184.9	188.3	163.9	153.9
大气晴朗指数	0.468	0.452	0.440	0.421	0.467	0.472	0.416	0.432	0.415	0.450	0.451	0.458

表 2 郑州市年气象参数

Tab.2 Annual meteorological parameters of Zhengzhou

气象参数	水平面年日均辐照量/MJ/(m <sup>2</sup> ·d)	水平面年总辐照量/MJ/m <sup>2</sup>	当地纬度倾角年日均辐照量/MJ/(m <sup>2</sup> ·d)	当地纬度倾角年总日辐照量/MJ/m <sup>2</sup>	年平均环境温度/°C	年平均每日日照小时数/h	年总日照小时数/h	年太阳能保证率推荐范围	回收年限/y
郑州	13.482	4 925.5	14.301	5 222.5	14.3	6.2	2 255.7	40%~50%	10

太阳能热泵热水系统包括太阳能集热单元、热量储存和供给单元、热泵机组单元和集中控制单元四部分.太阳能与热泵系统的技术耦合为并联式,太阳能集热器和热泵装置分别以太阳能和空气为热源并列提供热量,二者各自独立,互为补充,可以满足作为辅助热源的使用要求.太阳能热泵热水系统构成如图 1 所示<sup>[2]</sup>.

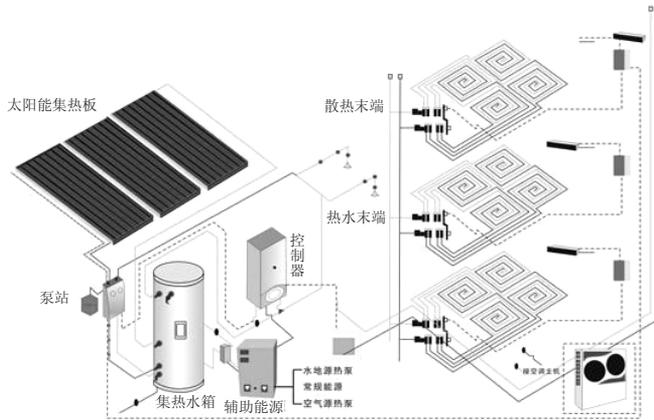


图 1 太阳能热泵热水系统结构图

Fig.1 The structure diagram of solar energy water heating system in conjunction with heat pump

太阳能热泵热水系统工作原理如图 2 所示<sup>[3]</sup>

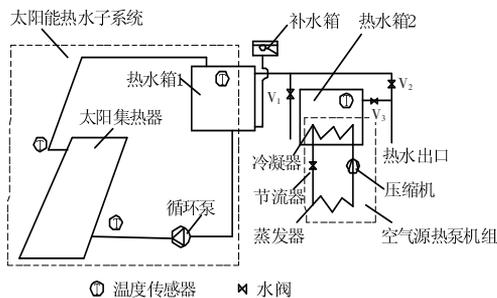


图 2 太阳能热泵热水系统原理图

Fig.2 The principle diagram of solar energy water heating system in conjunction with heat pump

太阳能热水子系统产生的热水蓄存于热水箱1中. 3个水阀( $V_1$ 、 $V_2$ 与 $V_3$ )由1个可编程逻辑控制器PLC控制. 当热水箱1中上部的水温高于 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 时, $V_2$ 开启, $V_1$ 、 $V_3$ 关闭,太阳能热水子系统直接向用户供生活热水,空气源热泵辅助加热太阳能热水系统以常规的太阳能热水器模式运行. 当热水箱1中上部的水温低于 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 时, $V_2$ 关闭, $V_1$ 、 $V_3$ 开启,太阳能热水子系统产生的低温热水进入热水箱2,由空气源热泵机组进一步加热. 空气源热泵机组同样由可编程逻辑控制器PLC控制,空气源热泵机组的运行台数根据热水箱2上部的水温进行确定. 在实际运行过程中,热水箱2上部的水温控制在 $48\sim 55\text{ }^\circ\text{C}$ .

## 2 系统节能效益分析

### 2.1 太阳能集热面积及系统增加的投资

该太阳能热泵热水系统采用真空管集热器,集热效率为0.66,集热器模块按当地纬度倾角安装在宾馆五楼顶层,根据宾馆用水需求及郑州市气象参数设计太阳能热水系统集热面积.

$$A_c = Q_w \times C_w (T_{\text{end}} - T_i) \times f / [I_t \times \eta_{\text{cd}} (1 - \eta_c)], \quad (1)$$

其中: $A_c$ 为系统集热器总面积, $\text{m}^2$ ; $Q_w$ 为日均用水量, $\text{kg}$ ; $C_w$ 为水的定压比热容, $4.187\text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ ; $T_{\text{end}}$ 为储水箱水的终止温度, $55\text{ }^\circ\text{C}$ ; $T_i$ 为水的初始温度, $15\text{ }^\circ\text{C}$ ; $f$ 为太阳能保有率,取0.5; $I_t$ 为日均辐射量, $14\ 301\text{ kJ/m}^2$ , $\eta_{\text{cd}}$ 为集热器集热效率,0.66; $\eta_c$ 为管路及储热水箱热损失,取0.2. 考虑到宾馆的特殊用水要求, $Q_w$ 取最大值 $Q_w = 120 \times 150 = 18\ 000\text{ kg}$ ,通过表1,知日均辐射量 $I_t$ 为 $1\ 4301\text{ kJ/m}^2$ ,计算得

$$A_c = 18\ 000 \times 4.187 \times (55 - 15) \times 0.5 / [14\ 301 \times 0.66 (1 - 0.2)] = 199.6\text{ m}^2$$

集热面积取 $200\text{ m}^2$ ,该太阳能热泵热水系统是在原锅炉加热系统基础上改进,采用原有管路及水箱,太阳能热泵系统增加投资25万元.

### 2.2 太阳能热泵热水系统年节能量预评估

1) 年节能量的计算公式:

$$\Delta Q_{\text{save}} = A_c I_t (1 - \eta_c) \eta_{\text{cd}}, \quad (2)$$

式中: $\Delta Q_{\text{save}}$ 为太阳热水系统的节能量, $\text{MJ}$ ; $A_c$ 为太阳集热器采光面积, $\text{m}^2$ ; $I_t$ 为太阳集热器采光表面上的年太阳辐照量, $\text{MJ/m}^2$ ; $\eta_{\text{cd}}$ 为太阳集热器的年平均集热效率, $\%$ ; $\eta_c$ 为管路和水箱的热损失率.

本系统太阳能集热面积 $A_c = 200\text{ m}^2$ ,根据表2, $I_t = 5\ 222.5\text{ MJ}$ ;系统集热器集热效率 $\eta_{\text{cd}} = 0.66$ ;热损失 $\eta_c = 0.2$ ,则

$$\Delta Q_{\text{save}} = A_c I_t (1 - \eta_c) \eta_{\text{cd}} = 200 \times 5\ 222.5 \times (1 - 0.2) \times 0.66 = 551\ 498.43\text{ MJ},$$

即该太阳能热泵热水系统每年能够节约 $551\ 498.43\text{ MJ}$ 的热量.

2) 寿命期内太阳热水系统的总节省费用

寿命期内总节省费用:

$$SAV = PI(\Delta Q_{\text{save}} C_c - A \cdot DJ) - A, \quad (3)$$

式中: $SAV$ 为系统寿命期内总节省费用,元; $PI$ 为折现系数; $C_c$ 为常规能源热价; $A$ 为太阳热水系统总增投资,本工程太阳能采光面积投资为 $250\ 000$ 元; $DJ$ 为维修费用,每年用于与太阳热水系统有关的维修费用占总增投资的百分率, $\%$ ,一般取 $1\%$ .

折现系数:

$$PI = \frac{1}{d - e} \left[ 1 - \left( \frac{1 + e}{1 + d} \right)^n \right], \quad (4)$$

式中: $d$ 为年市场折现率,可取银行贷款利率;这里取 $6\%$ , $e$ 为年燃料价格上涨率;按 $1\%$ 计算, $n$ 为节省费用的年限,从系统开始运行算起,集热系统寿命一般为15年.

所以:

$$PI = \frac{1}{d - e} \left[ 1 - \left( \frac{1 + e}{1 + d} \right)^n \right] = \frac{1}{0.06 - 0.01} \left[ 1 - \left( \frac{1 + 0.01}{1 + 0.06} \right)^{15} \right] = 10.31.$$

郑州市电价按 0.61 元/kWh, 折算的热价为 0.161 元/MJ, 代入公式 (3):

$$SAV = PI(\Delta Q_{\text{save}} C_e - A \cdot DJ) - A = 10.31 \times (551\ 498.43 \times 0.161 - 250\ 000 \times 1\%) - 250\ 000 = 639\ 662.76 \text{ 元},$$

寿命期内该太阳能热泵热水系统较常规能源节省费用 63.966 万元。

### 3) 回收年限

太阳能系统设计时, 回收年限指节省费用等于投资费用的时间, 即是说, SAV=0 时, 系统投入得到回收, 此时可以计算出回收年限。

系统回收年限:

$$N_e = \frac{\ln [1 - P(d - e)]}{\ln \left( \frac{1 + e}{1 + d} \right)}, \tag{5}$$

其中

$$P = A / (\Delta Q_{\text{save}} C_e - A \cdot DJ) = 250\ 000 / (551\ 498.43 \times 0.161 - 250\ 000 \times 1\%) = 2.89,$$

代入公式得  $N_e = \frac{\ln [1 - P(d - e)]}{\ln \left( \frac{1 + e}{1 + d} \right)} = 4.02$ , 即四年可收回初期增加的设备投资费用。

### 4) 太阳热水系统二氧化碳的减排量

太阳热水系统二氧化碳的减排量<sup>[4]</sup>:

$$Q_{\text{co}_2} = (\Delta Q_{\text{save}} \times n \times F_{\text{co}_2} \times 44 \div 12) \div W \div E_{\text{ff}}, \tag{6}$$

式中:  $Q_{\text{co}_2}$  为系统寿命期内二氧化碳减排量, kg;  $F_{\text{co}_2}$  为二氧化碳排放因子, 0.866 kg 碳/kg 标准煤;  $W$  为标准煤热值, 29 308 kJ/kg=29.308 MJ/kg;

$E_{\text{ff}}$  为常规能源水加热装置的效率, 取 95%;  $n$  为系统寿命一般为 15 年; 代入公式则

$$Q_{\text{co}_2} = (551\ 498.43 \times 15 \times 0.866 \times 44 \div 12) \div 29.308 \div 0.95 = 943\ 441.7 \text{ kg},$$

该太阳能热泵热水系统寿命期内运行期间二氧化碳减排量为 943.4 t。

## 3 结语

工程型太阳能热泵热水系统虽然增加了系统初装费和部分维护成本, 但通过对太阳能热泵热水系统的年节能量、节省费用、系统增加的初投资的回收年限, 以及太阳能热泵热水系统的环保效益进行综合分析来看, 太阳能热泵辅助加热方式具有很高的热效率和环境适应性, 尤其对郑州月均气温 0℃以上太阳能资源较为丰富的地区是一种非常理想的高品质供热水系统。随着能源紧缺及对环境保护的要求, 太阳能热利用的经济、环保、节能等优点势必成为未来低温热水供应的总趋势。

### 参考文献:

[1] 张庆原, Joe Huang. 中国建筑用标准气象数据库[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.  
 [2] 王长贵. 新能源在建筑中的应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.  
 [3] 冯诗愚, 高秀峰. 并联式太阳能热泵热水器中热泵子系统性能研究[J]. 太阳能学报, 2007(28): 125-129.  
 [4] 郑瑞澄. 民用建筑太阳能热水系统工程技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

(编辑 张继学)

# 工程型太阳能热泵热水系统节能效益分析

作者: 肖菊, 丁文萍, 杨敏芝, Xiao Ju, Ding Wenping, Yang Minzhi  
作者单位: 肖菊, 杨敏芝, Xiao Ju, Yang Minzhi (河南省科学院 能源研究所有限公司, 郑州, 450008), 丁文萍, Ding Wenping (河南省科技咨询服务中心, 郑州, 450052)  
刊名: 河南科学  

---

  
英文刊名: Henan Science  

---

年, 卷(期): 2013(6)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_hnkx201306025.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_hnkx201306025.aspx)