

# 主动式太阳房的应用技术

周 燕 谢军龙 沈国民

(华中科技大学)

[摘要] 太阳能建筑是当前人居环境科学领域的研究热点之一,本文阐述了太阳能采暖和供家用热水系统的循环原理,给出了系统各部件的理论计算公式,介绍了国外主动式太阳房的应用实例,并分析了主动式太阳房在我国应用的可能性。

[关键词] 主动式太阳房 太阳能采暖和供热系统 太阳能保证率 集热器 辅助热源

## 1 引言

随着我国经济的高速发展和人口的有计划增长,能源需求总量日益增加,太阳能这种可再生清洁能源的开发,有着重要的意义。虽然人类在建筑中利用太阳能方面已积累了不少经验,但有目的地研究太阳能建筑还是最近几十年来的事。1939年美国麻省理工学院建成了世界上第一座用来采暖的太阳能建筑,到70年代世界性能源危机后,太阳能建筑的发展速度大大加快,目前世界上大约有几十万座太阳能建筑。太阳能建筑是指利用太阳能替代部分常规能源使室内达到一定温度的一种建筑。早期的太阳能建筑物是利用太阳能与光能的自然传递使居室温暖明亮,通常称为“被动式太阳能建筑”。而后随着科学技术的发展和人们对居住环境要求的提高,逐渐从被动式太阳能建筑发展成“主动式太阳能建筑”。主动式太阳能建筑是由太阳能集热器、热水槽、泵、散热器、控制器和贮热器等组成的采暖系统或与吸收式制冷机组成的太阳能空调建筑。它与被动式太阳能建筑一样,围护结构应具有良好的保温隔热性能。本文主要讨论主动式太阳能建筑的采暖系统。

## 2 主动式太阳房的采暖和供热系统

### 2.1 系统循环原理

如图1所示,该系统可分为三个循环回路:1. 集热回路,主要包括集热器、贮存器、集热器热交换器、过滤器、循环泵等部件。在该回路中采用差动控制,使用两个温度传感器和一个差动控制器,其中一个温度传感器(热敏电阻或热电偶)安装在集热器吸热板接近传热介质出口处,另一个温度传感器安装

在蓄热水箱底部接近收集回路回流出口,当第一个传感器温度大于第二个传感器 $5\sim 10$ 时,集热泵3就开启。在这种情况下流体从贮存器经集热泵入集热器,同时空气从集热器置换进入贮存器中;相反,当蓄热水箱出口温度与集热器吸热板温度相差 $1\sim 2$ 时集热泵就关闭,在这种情况下依靠把集热器中的水排入到贮存器的方法来实现防冻,贮存器要隔热或封闭以防冰冻温度。夏天,用来加热水的有效太阳能可能超过热水用量,在这种情况下,太阳能系统中的水温可能超过沸点,因此系统应设置温控装置,当蓄热水箱的温度超过一定限度时,集热循环泵会自动关闭。2. 采暖回路,主要包括蓄热水箱、散热器、辅助热源、电动阀等部件。采暖回路是指采暖房间中热媒的循环回路,自动控制一般使用两个温度传感器和一个差动控制器,其中一个温度传感器置于蓄热水箱采暖回路出口附近,室内设置温度敏感元件测量室温,当室内温度降低时,此时蓄热水箱温度很高并达到一定的数值,辅助加热器关闭,由蓄热水箱提供热量;另一个温度传感器安装在采暖回路的回水管道中,如果室内温度继续下降,且第一个传感器读出的温度低于第二个时,即蓄热水箱的热量不能满足负荷要求,电动阀切断蓄热水箱与系统的联系,使其脱离循环,这时由辅助加热器供暖。3. 生活用热水回路,主要包括热水热交换器、预热水箱、辅助加热水箱、泵等部件。自来水经热水热交换器后进入预热水箱,经预热后的水从预热水箱顶部循环到辅助加热水箱中,在辅助加热水箱内水温上升到所希望的温度,供房间各处使用。任何家用热水系统都必须使用调温阀或其它方法,以确保输送的热水温度不会过高,输送水温度一般在 $50\sim 60$ 范围内。

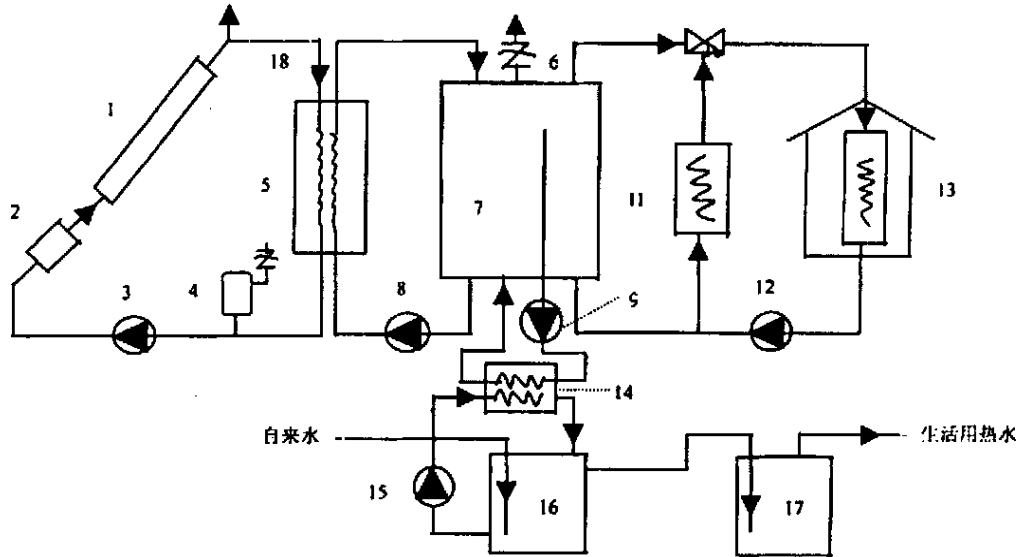


图 1 主动式太阳房采暖与供热水系统示意图

1- 集热器;2- 过滤器;3、8、9、12、15- 循环泵;4- 贮存器;5- 集热器热交换器;  
6- 减压阀;7- 蓄热水箱;10- 电动阀;11- 辅助热源;13- 散热器;14- 热水热交换器;16- 预热水箱;17- 辅助加热水箱;18- 排气阀

## 2.2 系统热负荷计算

系统热负荷为供暖热负荷、通风换气热负荷和生活用水热负荷三部分之和。

(1) 供暖热负荷:

$$q_{sh} = UA(T_i - T_0) \quad (1)$$

式中  $U$  ——建筑围护结构总传热系数,  $W/m^2$  ;

$A$  ——建筑围护结构总面积,  $m^2$  ;

$T_i, T_0$  ——建筑物采暖室外、室内温度,  $^{\circ}C$  。

(2) 通风换气热负荷:

$$q_v = V_a c_a (T_i - T_0) \quad (2)$$

式中  $c_a$  ——空气比热容  $KJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$  ;

$\rho_a$  ——空气的密度,  $kg/m^3$  ;

$V$  ——由于通风换气或缝隙渗透而进入室内的空气量,  $m^3/h$  ;

$T_i, T_0$  ——建筑物采暖室外、室内温度。

(3) 生活用水热负荷

$$q_{hw}(t) = \rho_w V(t) c_{pw} [T_d - T_s(t)] \quad (3)$$

式中  $\rho_w$  ——水的密度,  $kg/m^3$  ;

$c_{pw}$  ——水的比热容  $KJ/(kg \cdot ^{\circ}C)$  ;

$T_d$  ——热水供应温度,  $^{\circ}C$  ;

$T_s(t)$  ——自来水供应温度,  $^{\circ}C$  ;

$V(t)$  ——热水的流量  $m^3/day$  。

因此系统热负荷  $L$  为

$$L = q_{sh} + q_v + q_{hw} \quad (4)$$

## 2.3 集热器面积的确定

太阳能采暖是为了节省常规能源,消除污染,同

时要求系统投资在一定年限内收回。如果系统设计成为全年的日子里都有效,则非常不经济,实验证明,假若给定的集热器面积可以提供一年中 320 天所需的热量,但为了满足余下 30 天所需的热量,则集热器的面积要增加一倍,而为了提供余下 15 天所需的热量,则需再增加一倍,所以太阳能采暖系统的采暖热负荷只能由太阳能提供一部分。选择较小的尺寸,用其它燃料作为辅助热源,这种作法较为经济。所利用的太阳能与采暖热负荷的比率称为太阳能保证率,用  $f$  表示:

$$f = \frac{\text{来自太阳的有效得热}}{\text{所需热负荷}} \quad (5)$$

如果太阳能系统的集热器面积为  $A_c$ ,系统中集热器的安装造价为  $D$  元/ $m^2$ ,系统中与集热器面积有关的设备(如蓄热水箱的大小)费用为  $E$  元/ $m^2$ ,系统中与集热器面积无关的设备费用(如泵、管道等附加设备的固定造价)是  $G$  元/ $m^2$ ,燃料的价格是  $C_F$  元/ $m^2$ ,假定收回系统初投资的合理年限为  $K$  年,每年的折旧率为  $1/K$ ,则每年节省的钱数  $W$  为:

$$W = \frac{C_F \sum_{i=1}^K L - [(D + E) A_c + G]}{K} \quad (6)$$

由(4)式可计算出系统的热负荷  $L$ ,在  $L$  一定的情况下,集热面积  $A_c$  值不同则系统太阳能保证率也随之不同,需要计算出一系列不同集热器面积下的太阳能保证率  $f$ ,以得出不同的系统每年节省的钱数  $W$ ,由此确定出最经济的集热面积和最经济的太阳能保证率  $f$ 。

#### 1.4 蓄热水箱的设计

蓄热槽的容积与集热器效率、采暖负荷和太阳能保证率等有关,其蓄热量可表达为:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} mc_p dT = \int_{T_1}^{T_2} Vc_p dT \quad (7)$$

式中  $T_1, T_2$  为蓄热介质起始温度和蓄热温度,为蓄热介质密度,  $c_p$  为蓄热介质比热容。对于采暖和供热水系统来说,通常把水作为蓄热介质,水的密度和比热容可看作常量,因此蓄热水箱的蓄热量可表达为:

$$Q = Vc_p T \quad (8)$$

由此可得蓄热水箱容积为:

$$V = Q / c_p T \quad (9)$$

#### 3 主动式太阳房国外应用实例

在美国新罕布什尔州,大约北纬  $44^\circ$ ,气候寒冷,冬季室外计算温度为  $-32^\circ$ 。依着节能和室内环境舒适的原则,在 1991 年底设计了一套利用太阳能来供暖、供热水的住宅。这套住宅大约有  $167 \text{ m}^2$  (包括地下室)。输入该地区全年逐小时气象资料,由计算机模拟出该住宅的热工参数,由于该太阳能住宅有良好的隔热性能,住宅的设计热负荷大约为  $6 \text{ kW}$ ,经电脑模拟计算得出:选用集热面积为  $33 \text{ m}^2$  的集热器,容积为  $4542 \text{ L}$  的蓄热槽,容积为  $197 \text{ L}$  的生活用热水槽,另外用  $5 \text{ kW}$  的电加热器作为辅助热源。这套住宅在实际运行中,能保证室内舒适的温度条件。

#### 4 主动式太阳房在我国应用的可能性

我国是太阳能资源十分丰富的国家,三分之二的国土面积年日照在 2200 小时以上,年辐射总量大约在每年  $3340 \sim 8360 \text{ MJ/m}^2$ ,相当于  $110 \sim 250 \text{ kg}$  标准煤/ $\text{m}^2$ 。我国的太阳能资源按年辐射总量划分为五类地区:丰富地区 ( $6690 \sim 8360 \text{ MJ/m}^2$ )、较丰富地

区 ( $5852 \sim 6690 \text{ MJ/m}^2$ )、中等地区 ( $5016 \sim 5852 \text{ MJ/m}^2$ )、较差区 ( $4180 \sim 5016 \text{ MJ/m}^2$ )、最差区 ( $3344 \sim 4180 \text{ MJ/m}^2$ )。即使我国太阳能较差的地区,年辐射总量也接近东京 ( $4220 \text{ MJ/m}^2$ ),高于伦敦 ( $3640 \text{ MJ/m}^2$ )、汉堡 ( $3430 \text{ MJ/m}^2$ ) 这些世界上太阳能利用较好的城市,可见我国在建筑中的太阳能利用还大有潜力可挖。

1975 年我国在甘肃地区首次建造了小型被动太阳房,之后有关人员结合我国的实际情况在理论、实验、材料等方面作了大量的工作,但大多是以被动式太阳房为主,主动式太阳房的研究比较少。我国东北、华北和西北的冬季是需要进行采暖的地区,大部分处于太阳能资源较丰富的地区之内,采暖期(11月-3月)日照率高,这对利用太阳能采暖提供了优越条件。

#### 5 小结

建筑节能是近年来世界建筑发展的一个基本趋向,也是当代建筑科学技术的一个新的生长点,太阳能是建筑上很具有利用潜力的新能源,于是太阳房这种节能环保住宅应运而生。主动式太阳房的采暖与供热水系统可以根据需要进行自动调节,可以提供舒适的室内环境,因此在我国主动式太阳房的推广与应用具有广阔的前景。

BEE

#### 参 考 文 献

- 1 Marc Rosenbaum, P. E. Dolar Energy House. ASHRAE Journal, 2000(9)
- 2 岑幻霞. 太阳能热利用. 北京:清华大学出版社,1997.
- 3 中国建筑业协会建筑节能委员会. 建筑节能技术. 北京:中国计划出版社,1996.
- 4 方荣生. 太阳能应用技术. 北京:中国农业机械出版社,1995.
- 5 郭廷玮. 太阳能的利用. 北京:科学技术文献出版社,1987.
- 6 D. Yogi Goswami, Frank Kreith, Jan F. Kreider. Principles of Solar Engineering. Philadelphia, PA: George H. Buchanan Co., 1999, 211 - 234.

## Applying Technology of the Active Solar House

By Zhou Yan, Xie Junlong and Shen Guomin

Abstract Solar building is one of the researching focus in the scientific field of environment of human building, this text expatiates the circle principal of the solar space - heating and domestic water - heating system, presents the theoretic calculation formula of every part of the system, introduces the actual examples of the active solar house in the foreign country and analyzes the applying probabilities of the active solar house in our country.

Keywords active solar house, solar space - heating and domestic water - heating system, solar guarantee solar collector, aided heat source