



## 基于空气集热器的太阳能热泵供热供冷装置分析

王丽焕<sup>1</sup>, 陈东<sup>1</sup>, 陈晓宇<sup>2</sup>, 陈金深<sup>2</sup>

(1. 天津科技大学机械工程学院, 天津 300222; 2. 大连久盛太阳能科技发展有限公司, 大连 116600)

**摘要:** 针对传统供热供冷模式的不足,给出了一种基于空气集热器的太阳能热泵供热供冷装置,并对其结构、性能等进行了分析和研究.结果表明,该装置在夏季供冷季可比传统空调节约电约20%,降低能源费用约50%;在冬季供热季其耗能量约为常规燃煤集中供热的23%,费用约为常规燃煤集中供热的67%.

**关键词:** 供热供冷; 太阳能; 热泵; 空气集热器

**中图分类号:** TK515      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2010)03-0054-04

## Study on the Solar Heat Pump Heating and Refrigerating System Based on Air Solar Collector

WANG Li-huan<sup>1</sup>, CHEN Dong<sup>1</sup>, CHEN Xiao-yu<sup>2</sup>, CHEN Jin-shen<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China;

2. Dalian Jiusheng Corporation of Solar Energy Technology, Dalian 116600, China)

**Abstract:** Based on the shortcomings of the traditional heating and refrigerating mode, a solar heat pump heating and refrigerating system based on air solar collector was given, and its structure and performances were also analyzed and researched. Results show that this device can save electricity by about 20% and decrease energy cost by about 50% compared with traditional air-conditioning during the period of summer cooling, and its energy consumption and energy cost are about 23% and 67% of the traditional coal-combustion central heating mode during the period of winter heating.

**Keywords:** heating and refrigerating; solar energy; heat pump; air solar collector

目前,华北地区通常的供热供冷模式是,冬季采用燃煤供热,夏季采用空调制冷.这种供热供冷模式的主要不足是,供热与供冷需两套装置,燃煤供热的能源效率低,环境污染大.

太阳能是一种可再生绿色能源,用太阳能光热转换进行冬季供热具有环境友好、节能等一系列优点,太阳能的不足之处是,受天气影响大,尤其是在阴天或雨雪天等天气时,可能无法为用户提供充足的热能.热泵是一种高效制热装置,只需消耗少量电能,即可从大气、土壤等自然环境中吸取大量低温热能并将其升温来为室内供热,而且热泵装置除可用于冬季供热外,还可用于夏季供冷.太阳能与热泵结合组成的太阳能热泵装置,可一套装置实现冬季供热、夏季供冷两项功能,能源效率高,环境友好,且不受天气

影响<sup>[1]</sup>.

目前,研究较多的太阳能热泵供热供冷装置是基于热水型太阳能集热器的结构模式,即冬季供热时由太阳能集热器和热泵联合制取一定温度的热水,由管路输送给用户供热;夏季则由热泵制取冷水,输送给用户供冷<sup>[2-4]</sup>.这种模式的输热输冷均通过水为介质,管路较简单,但其不足之处是,在冬季水易发生冻结从而损坏设备,而且需要将水与空气进行换热,增加了传热环节和装置的复杂性,也增加了传热损失,降低了传热效率.

基于空气集热器的太阳能热泵供热供冷装置则是直接采用空气作为输热输冷介质,可较好地克服热水型结构模式的不足,本文旨在对这一新型装置的结构、性能等进行较系统的分析与研究.

## 1 装置结构与冬季供热分析

基于空气集热器的太阳能热泵供热供冷装置的结构如图1所示,图1中也标出了装置冬季供热运行时热泵工质及空气的流向。

图中压缩机、换热器I、换热器II、换热器III、节流阀及电磁阀I、电磁阀II、电磁阀III、电磁阀IV构成热泵,热泵内充注适宜的热泵工质;蓄能箱中放置一定数量的蓄能容器,蓄能容器内充入适宜的蓄能介质

(如水、相变介质等),空气流过蓄能箱内时,通过蓄能容器壁与容器内的蓄能介质换热,实现蓄热或蓄冷(蓄能箱壁采用保温材料,供冷或供热效率一般大于95%;冬季供热时,蓄能箱供热占总供热的比率通常为20%~40%;夏季供冷时,蓄能箱所占比率为10%~30%)。

空气集热器太阳能热泵用于冬季供热时,电磁阀I、电磁阀II打开,电磁阀III、电磁阀IV关闭,热泵工质按图中箭头所示方向流动。

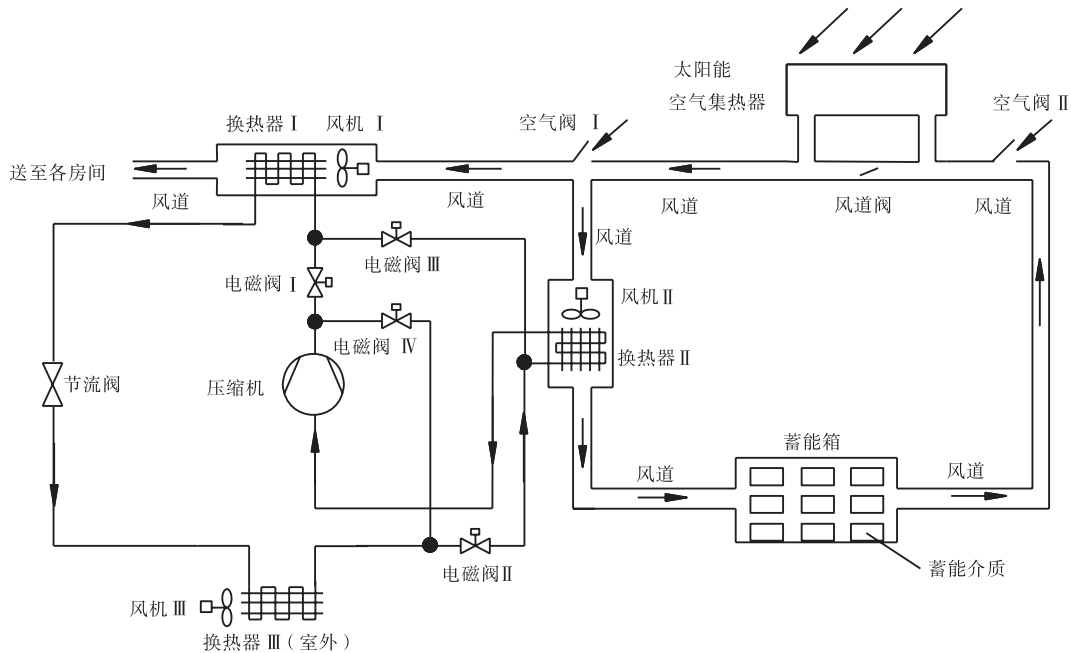


图1 空气集热器太阳能热泵冬季供热示意图

Fig.1 Heating mode of the solar heat pump with air solar collectors

按太阳能空气集热器收集热量、蓄能箱中蓄能介质中蓄存热量的情况,空气集热器太阳能热泵在冬季供热时可有如下6种运行模式:

模式1:当白天阳光较充足,太阳能空气集热器收集的热量除用于室内供热外还有富余时,太阳能空气集热器同时给室内供热和蓄能箱充热。此时风机I和风机II运行,空气阀I和空气阀II打开,风道阀关闭。这种模式下由太阳能空气集热器制取的热空气在空气阀I处分两路:一路由风机II送入蓄能箱加热蓄能介质,将富余热能蓄存起来;另一路与空气阀I处进入的适量低温空气混合,由风机I送入待供热房间。

模式2:当白天阳光不很充足,太阳能空气集热器收集的热量仅够维持室内供热时,仅风机I运行,空气阀II打开,空气阀I和风道阀关闭。这种模式下由空气阀II处进入的低温空气被太阳能空气集热器升温后,直接由风机I送入待供热房间。

模式3:当白天阳光较弱,太阳能空气集热器收集的热量不能满足室内供热需求时,则风机I和风机II运行,空气阀II打开,空气阀I和风道阀关闭。这种模式下由空气阀II处进入的低温空气与来自蓄能箱的热空气混合后,进入太阳能空气集热器被进一步升温到要求温度,由风机I送入需供热的房间。

模式4:当阴天、雨雪天或晚间,太阳能空气集热器难以收集热量时,此时风机I和风机II运行,空气阀I、空气阀II和风道阀均打开。这种模式下由空气阀II处进入的低温空气与来自蓄能箱的热空气混合得到适宜温度的空气,一部分由风机I送入房间供热,另一部分由风机II再送入蓄能箱吸收蓄能介质的热量。

模式5:当无阳光照射且蓄能箱中蓄能介质的温度下降而无法为房间提供充足热量时,热泵压缩机启动,风机I和风机II运行,空气阀I和风道阀打开,空气阀II关闭。这种模式下由风机II驱动空气在蓄能

箱与换热器 II 之间循环流动,空气从蓄能介质中吸热,再放热给换热器 II 中的热泵工质;热泵工质则沿压缩机→电磁阀 I →换热器 I →节流阀→换热器 III →电磁阀 II →换热器 II →压缩机的路线进行循环,将换热器 II 所吸收的热量升温后由换热器 I 放出;由空气阀 I 处进入的低温空气由风机 I 吹送流过换热器 I ,在换热器 I 处被加热至适当温度后再送入需热房间。

模式 6:当蓄能箱中蓄能介质的温度降至较低温度时,风机 II 停止,风机 III 启动,风机 I 和压缩机继续运行,空气阀 I 保持开启。这种模式下热泵工质的循环路线与模式 5 相同,不同之处是:热泵是通过室外换热器(即换热器 III)从室外的环境空气中吸热,通过热泵升温后通过换热器 I 放出;由空气阀 I 处进入的低温空气由换热器 I 加热至适当温度后送入房间。

## 2 夏季供冷分析

空气集热器太阳能热泵用于夏季供冷时,其部件及结构与冬季供热时相同,但此时电磁阀 I、电磁阀 II 关闭,电磁阀 III、电磁阀 IV 打开,热泵工质的流动方向是沿压缩机→电磁阀 IV →换热器 III →节流阀→换热器 I →电磁阀 III →换热器 II →压缩机。

根据室内设定温度、室外空气温度的情况,以及当地电费政策<sup>[5]</sup>,该装置在夏季供冷时可有如下 5 种运行模式:

模式 1:室外空气温度低于室内设定温度较多时(如相差 5℃以上),则风机 I、风机 II 运行,空气阀 I、空气阀 II、风道阀均打开。此时低温空气一部分由风机 I 送入室内供冷,一部分由风机 II 送入蓄能箱使蓄能介质降温,实现蓄冷。

模式 2:当室外空气温度低于室内设定温度但相差不太大时(如 2~5℃),仅风机 I 运行,空气阀 I 打开。此时低温室外空气直接由风机 I 送入需供冷的房间,将房间温度控制在设定值。

模式 3:当室外空气温度较高(与室内设定温度相近,或高于室内温度),而用户处有峰谷电价政策时,可在谷值电价时段利用热泵为房间供冷并同时用蓄能箱蓄冷,即压缩机启动,风机 I、风机 II、风机 III 运行,空气阀 I、空气阀 II、风道阀均打开。此时热泵从换热器 I 和换热器 II 中吸热制冷,并通过换热器 III 将热量排向室外,热泵工质沿压缩机→电磁阀 IV →换热器 III →节流阀→换热器 I →电磁阀 III →换热器 II →压缩机的路线进行循环。风机 I 吹送空气经换

器 I 制冷降温后送入房间;风机 II 吹送空气经换热器 II 制冷降温后送入蓄能箱,冷却蓄能介质实现蓄冷。

模式 4:当室外空气温度较高且为非谷值电价时段,而蓄能箱中蓄能介质温度较低时,可由蓄能介质为室内供冷。此时风机 I 和风机 II 运行,空气阀 II 和风道阀打开,空气阀 I 关闭,被蓄冷介质降温的空气与适量由空气阀 II 进入的空气混合后,由风机 I 送入房间。

模式 5:当蓄能箱中蓄能介质温度逐渐升高,无法满足房间的需冷量时,则启动热泵为房间供冷,即压缩机启动,风机 I、风机 III 运行,风机 II 停止,空气阀 I 打开,空气阀 II 关闭,热泵工质的循环路线与模式 3 相同,热泵通过换热器 I 将空气阀 I 处进入的空气冷却降温后送入房间,并通过换热器 III 将热量排向室外。

## 3 装置的性能分析

以北方某城市一套面积为  $S = 200 \text{ m}^2$  的楼房为例,设<sup>[6]</sup>夏季时空调负荷为  $q_R = 0.1 \text{ kW/m}^2$ ,空调季为  $D_R = 90 \text{ d}$ ,每天平均使用空调时间  $H_R = 10 \text{ h}$ (其中谷值电价时段  $H_{RG} = 3 \text{ h}$ ,峰值电价时段为  $H_{RF} = 7 \text{ h}$ );冬季供热负荷为  $q_H = 0.05 \text{ kW/m}^2$ ,供热季为  $D_H = 120 \text{ d}$ ,每天供热时间  $H_H = 24 \text{ h}$ 。

### 3.1 夏季供冷分析

参考常规空调的工程运行数据,取<sup>[6]</sup>常规空调的制冷系数  $COP_R = 3.0$ ,则空调耗电功率为

$$W_R = \frac{Sq_R}{COP_R} = 6.67 \text{ kW}$$

一个空调季的总耗电量为

$$E_{RA} = W_R D_R H_R = 6\ 000 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

设<sup>[5]</sup>谷值电价为  $P_{EG} = 0.4018 \text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,峰值电价为  $P_{EF} = 1.2368 \text{ 元}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,则一个空调季的耗电费用为

$$C_{EA} = E_{RA} (P_{EG} H_{RG} + P_{EF} H_{RF}) / (H_{RG} + H_{RF}) = 5\ 918 \text{ 元}$$

设本文装置在夏季供冷时的制冷系数也为  $COP_R = 3.0$ ,且平均每天以模式 2 供冷 2 h,模式 3 供冷 3 h,模式 4 供冷 3 h,模式 5 供冷 2 h,并设蓄能箱中冷量均由模式 3 制取,风机功耗不计(与压缩机功耗相比,风机功耗很低,为简化分析计算,此处未计入)。常规空调供冷时均需压缩机工作,本文装置供冷时,每天 10 h 中有 2 h 是按模式 2 运行,此时机组仅风机工作,耗能极少,故比常规空调节电约 20%,供冷耗电费用为

$C_{EB} = (2 \times 0 + 3W_R P_{EG} + 3W_R P_{EG} + 2W_R P_{EF}) D_R = 2932$  元  
可降低耗电费用约 50%。

### 3.2 冬季供热分析

冬季供热负荷为

$$Q_H = Fq_H = 10 \text{ kW}$$

常规燃煤集中供热时,取<sup>[7]</sup>锅炉效率  $\eta = 0.7$ ,煤的热值  $q_C = 24 \text{ MJ/kg}$ ,则一个供热季的耗煤量为

$$M_{CA} = \frac{3.6Q_H H_H D_H}{\eta q_C} = 6171 \text{ kg}$$

设常规燃煤集中供热的费用标准为  $P_{CA} = 25$  元/ $\text{m}^2$ ,则一个供热季的费用为  $C_{HA}$  为

$$C_{HA} = SP_{CA} = 5000 \text{ 元}$$

采用本文装置时,设<sup>[1]</sup>每天太阳能供热时间为 6 h,蓄能供热时间为 6 h(蓄能热量均来自太阳能),热泵供热 12 h,热泵供热的制热系数  $COP_H = 3.5$ (当装置完全无热损失时,制热系数  $COP_H = COP_R + 1 = 4.0$ ,考虑到实际机组中热损失不可避免,此处取  $COP_H = COP_R + 0.5 = 3.5$ ),不计风机耗电,则热泵供热的耗电功率为

$$W_H = \frac{Q_H}{COP_H} = 2.86 \text{ kW}$$

一个供热季的耗电量为

$$E_H = 12W_H D_H = 4118.4 \text{ kW}\cdot\text{h}$$

取<sup>[8]</sup>我国发电标准煤耗为  $R_{CE} = 0.35 \text{ kg}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,则热泵耗电的折合煤量为

$$M_{CB} = R_{CE} R_H = 1441 \text{ kg}$$

即空气集热器太阳能热泵供热的耗能量约为常规燃煤集中供热的 23%。

设<sup>[7]</sup>电价为  $P_E = 0.8083$  元/ $(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,则一个供热季的耗电费用为

$$C_{HB} = E_H P_E = 3329 \text{ 元}$$

即空气集热器太阳能热泵供热的费用约为常规燃煤集中供热的 67%。

## 4 结 语

基于空气集热器的太阳能热泵供热供冷装置在夏季供冷季可比传统空调节约 20%,降低能源费用约 50%;在冬季供热季其耗能量约为常规燃煤集中供热的 23%,费用约为常规燃煤集中供热的 67%。该装置用一套系统实现冬季供热、夏季供冷两种功能,与传统的空调和燃煤集中供热模式相比,节约能源和降低运行费用的效果显著。

进一步应就装置的部件优化、动态特性及调控参数等进行更深入的分析与研究,使该装置的设备投资与传统供热供冷装置相近,降低其投资回收期。

### 参考文献:

- [1] 陈东,谢继红. 热泵技术及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006:26-44.
- [2] 周恩泽,董华,涂爱民,等. 太阳能热泵地板辐射供暖系统的实验研究[J]. 流体机械,2006,36(4):57-62.
- [3] 李健,罗浩. 太阳能—地源热泵三联供户式中央空调技术[J]. 制冷与空调,2007(2):38-40,44.
- [4] Comakli,Kayqusuz. Solar-assisted heat pump and energy storage for residential heating[J]. Solar Energy,1993,51(5):357-366.
- [5] 天津电力公司. 天津地区销售电价表[EB/OL]. (2009-12-15) [2009-12-15]. [http://www.tj95598.com/produced\\_pages/info/pages/0/2009-12-15/20091215143653273037.html](http://www.tj95598.com/produced_pages/info/pages/0/2009-12-15/20091215143653273037.html).
- [6] 滕达. 单元式空调机的运行操作及管理[M]. 北京:中国电力出版社,2005:30-36.
- [7] 赵岩,陆广发,杜成化. 工业锅炉与供热网络技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨地图出版社,2006:3-5.
- [8] 黄飞,陶进庆. 太阳能热水器节能效益和环境效益浅析[J]. 新能源,2000,22(2):12-14.