

# 太阳能供暖空调系统设计探讨

中南建筑设计院 刘华斌\* 马友才 周珣树 姜 毅

**摘要** 阐述了太阳能集热器的选择和布置、太阳能供暖空调系统的两种形式。结合工程实例,描述了太阳能应用于地板辐射供暖和热水型溴化锂吸收式制冷的设计方案及系统控制要求。

**关键词** 太阳能 集热器 系统 地板辐射供暖

## Discussion on design of solar heating and air conditioning system

By Liu Huabin\*, Ma Youcai, Zhou Xunshu and Jiang Yi

**Abstract** Expounds selection and arrangement of the solar collector, and analyses two forms of the solar heating system. With an example, presents the design scheme and system control demands of floor heating system and hot-water LiBr absorption refrigeration system adopting solar energy.

**Keywords** solar energy, heat collector, system, floor heating

★ Central-south Architectural Design Institute, Wuhan, China

①

### 1 太阳能供暖空调系统设计要点

#### 1.1 太阳能集热器的选择及布置

##### 1.1.1 太阳能集热器的选择

我国目前使用的太阳能集热器可简单分为两类:平板型和真空管型。真空管型因构造的不同可分为:全玻璃真空管集热器、热管真空管集热器、U形管真空管集热器等。

平板型太阳能集热器应用较早,具有采光面积大、结构简单、运行安全可靠、投资成本较低、维护管理方便、使用寿命长等优点,已应用于生活热水供应、供暖空调工程、工程除湿、温水养殖等领域。但其热流密度低、工质温度低。由于平板型集热器不具备聚光功能,其工作温度一般限于 100℃ 以下。

全玻璃真空管集热器结构简单、工艺成熟可靠、玻璃材料容易得到、成本随着批量使用逐年降低,全玻璃真空管太阳能热水器已占我国太阳能热水器生产总量的 70%。其缺点是玻璃易碎、运输及维护管理相对要求较高,不能承压,目前价格仍偏高,工程上应用投资回收期较长。

热管真空管集热器水容量小、热启动快、防冻能力强,且集热温度高,但目前价格较高。

在太阳能供暖空调工程中,从制冷设备效率的角度考虑,希望集热器的出水温度越高越好,平板型太阳能集热器随着集热器出水温度的升高其集热效率衰减较快,在制冷工程中的应用优势不明显,随着制造成本的逐年降低,全玻璃真空管和热管真空管愈来

愈适合应用于既有供暖又有制冷需求的工程中。现有几种太阳能集热器合理的工作温度区为:平板型太阳能集热器,80℃ 以下;真空管/热管太阳能集热器,80~120℃;聚光型太阳能集热器,120℃ 以上。

##### 1.1.2 太阳能集热器的布置

太阳能集热器宜按朝向正南,或在南偏东、偏西 30° 的朝向范围内设置;安装倾角宜选择在当地纬度 $-10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 的范围内。

前后排集热器之间不能相互遮挡,某一时刻太阳能集热器不被前方障碍物遮挡阳光的日照间距按式(1)计算:

$$S = H \cot h \cos \gamma_0 \quad (1)$$

式中  $S$  为集热器不被前方障碍物遮挡阳光的日照间距, m;  $H$  为前方障碍物的高度, m;  $h$  为计算时刻的太阳高度角,  $^{\circ}$ ;  $\gamma_0$  为计算时刻太阳光线在水平面上的投影线与集热器表面法线在水平面上的投影线之间的夹角,  $^{\circ}$ 。

平板型集热器之间的连接可采用图 1 或图 2 所示的方式,串联的集热器个数不宜超过 3 个,推荐采用并联方式;集热器组之间的连接可参考图 3 的并联同程方式,当异程布置时,应有保证水力平衡的措施,

①☆ 刘华斌,男,1967 年 4 月生,大学,教授级高级工程师  
430071 武汉市中南二路 10 号中南建筑设计院  
(027) 87336898  
E-mail: LHB-WH@163.com  
收稿日期:2008-12-24

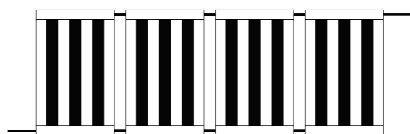


图1 集热器并联布置

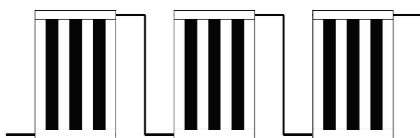


图2 集热器串联布置

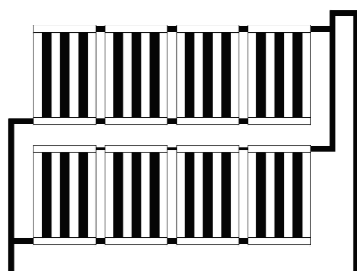


图3 集热器组同程布置

如在各组集热器的进(出)水管上设置流量控制阀。

### 1.1.3 太阳能集热器的单位面积流量

太阳能集热器的单位面积流量应根据太阳能集热器生产企业给出的数值确定,估算时宜按表1给出的范围取值。

| 表1 太阳能集热器的单位面积流量                           | $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| 大型集中太阳能供暖系统<br>(集热面积大于 $100 \text{ m}^2$ ) | 0.06~0.021                               |
| 小型独户太阳能供暖系统                                | 0.024~0.036                              |
| 板式换热器间接式太阳能集热供暖系统                          | 0.009~0.012                              |
| 太阳能空气集热器供暖系统                               | 36                                       |

### 1.2 制冷设备

1) 目前应用较多的太阳能制冷设备主要有热水型吸收式制冷机组和太阳能吸附式制冷机组,热水型吸收式制冷机组由于制冷循环的差异,可分为单效、双效、三效以及单效两级复合式机组,单效、双效、三效要求的热源温度及可采用的集热器类型可参考表2。

表2 单效、双效、三效吸收式制冷机  
所需集热器面积估算值

|    | COP 典型值 | 热源温度/<br>$^{\circ}\text{C}$ | 集热器类型      | 所需加热<br>功率/kW | 所需集热器<br>面积/ $\text{m}^2$ |
|----|---------|-----------------------------|------------|---------------|---------------------------|
| 单效 | 0.7     | 85                          | 平板或真空管     | 1.43          | 7.48                      |
| 双效 | 1.2     | 130                         | 真空管/CPC聚光型 | 0.83          | 5.07                      |
| 三效 | 1.7     | 220                         | 聚光型        | 0.59          | 4.49                      |

2) 平板型太阳能集热器在超过  $90^{\circ}\text{C}$  高温下效率过低,用于吸收式制冷机组系统中不太合理,理论

上可产生  $90^{\circ}\text{C}$  热水,但不仅效率低,而且可利用的时间短,不推荐应用于吸收式制冷机组系统中。

3) 单效型吸收式制冷机组要求的热源水温度可低至  $75^{\circ}\text{C}$ ,但机组的 COP 值只有 0.6 左右。

4) 太阳能吸附式制冷机组系统结构简单,不存在制冷剂污染、结晶、腐蚀等问题,要求的热源水温度比吸收式制冷机组低,如采用硅胶-水吸附工质对的太阳能吸附式制冷机可由  $65\sim 85^{\circ}\text{C}$  的热水驱动,是吸附式制冷机组中较适合太阳能空调的系统。

### 1.3 蓄热系统

1) 太阳能与建筑物负荷的不一致性及不可直接储存的特性要求在系统设计中应有蓄热措施,应根据太阳能集热系统形式、系统性能、系统投资,供暖负荷、太阳能保证率进行技术经济分析,选取适宜的蓄热系统。一般单体建筑可采用短期蓄热液态工质集热器太阳能供暖系统,季节负荷匹配性差异过大、且经济技术条件合适时可采用季节蓄热液态工质集热器太阳能供暖系统,蓄热方式可参考文献[1]。

2) 短期蓄热液态工质集热器太阳能供暖系统的蓄热量应能满足建筑物 1~5 d 的供暖需求。

3) 设计地下水池季节蓄热系统的水池容量时,应校核计算蓄热水池内热水可能达到的最高温度,常压水池的最高水温应低于  $95^{\circ}\text{C}$ ,承压水池(箱)的最高水温应与水池内压力相对应的水的沸点低  $5^{\circ}\text{C}$ 。

4) 设计埋管季节蓄热系统时,应进行地质勘察,了解岩土层的结构及分布,岩土体的热物性参数,岩土体的温度分布等,确定当地的土壤地质条件是否适宜埋管;宜与地源热泵系统结合使用。

### 1.4 太阳能供暖空调系统形式

1) 按太阳能集热器内的热水是否直接为末端设备使用可分为直接式太阳能集热系统和间接式太阳能集热系统,按集热器内的热水是否直接与大气相通可分为开式系统和闭式系统。

2) 太阳能供暖系统按所使用的末端类型可分为下列 4 种系统:低温热水地板辐射太阳能供暖系统;水-空气处理设备太阳能供暖制冷系统;散热器太阳能供暖系统;热风供暖太阳能供暖系统。

3) 直接式太阳能集热系统宜在冬季最低环境温度不低于  $-5^{\circ}\text{C}$ ,防冻要求不严格的地区使用;冬季最低环境温度低于  $-5^{\circ}\text{C}$  的地区,宜采用间接式太阳能集热系统。

4) 图 4 为与吸收式制冷机组相结合的间接式

太阳能供暖空调系统原理图(闭式系统),图5为与地源热泵相结合的间接式太阳能供暖空调系统原理图(闭式系统),与吸收式制冷机组相结合的间接式太阳能供暖空调系统原理(开式系统)可见第2.4节,必要时系统应设置蓄冷水箱。

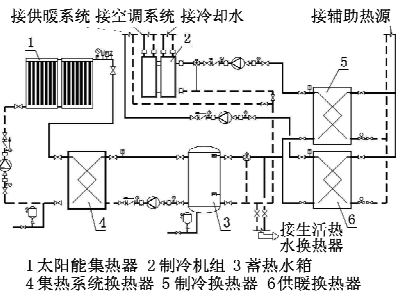


图4 太阳能供暖空调系统原理图(与吸收式机组结合)

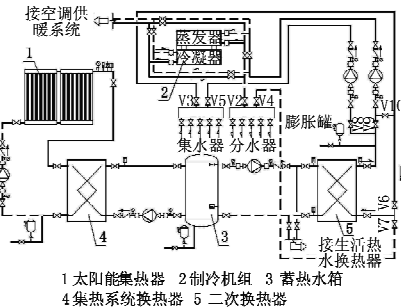


图5 太阳能供暖空调系统原理图(与地源热泵相结合)

5) 与地源热泵相结合的太阳能供暖空调系统,可利用地埋管实现季节蓄热,系统综合利用效率较高。供暖季开启阀 V2, V3, V6, V9, 关闭阀 V4, V5, V7, V8, V10, 利用地源热泵机组供暖,夏季可利用地源热泵机组供冷。非供暖季关闭阀 V2, V3, V6, V9, 开启阀 V4, V5, V7, V8, V10, 开启蓄热循环泵将富余的太阳能热量通过地埋管储存在土壤中。

### 1.5 自动控制设计

1) 太阳能供热供暖系统应设置自动控制。自动控制的功能应包括对太阳能集热系统的运行控制和安全防护控制,集热系统和辅助热源设备的工作切换控制。太阳能集热系统安全防护控制的功能应包括防冻保护和防过热保护。2) 系统控制措施参见第2.5节。3) 为防止因系统过热造成运行故障或安全隐患,闭式系统应设置安全阀,其设定的开启压力应与系统可承受的最高工作温度对应的饱和蒸汽压力相一致。

## 2 工程方案介绍

### 2.1 工程概况

西宁火车站拟在原址重建,位于西宁市区湟水河左岸,规划2020年年发送旅客483万人,2030年年发送旅客772万人。站房面积约3万 $\text{m}^2$ ,由进出站厅、候车厅、售票用房、行包房、旅客服务、管理办公用房等组成。

西宁市是我国太阳能Ⅱ类资源区,年总辐照量约6329.7 $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (纬度倾角),有着较丰富的太阳能资源,此外青海省在太阳能的资源利用中,部分工程可得到国家一定的资金资助,在西宁火车站站房的供暖空调设计中,将太阳能作为系统的主要能源,将站房外已有的锅炉作为辅助能源,实现“太阳能+燃气锅炉”的能源供给方式。

### 2.2 冷热负荷

太阳能供暖范围为基本站台候车厅、2层普通候车厅和售票厅,此部分建筑面积约17500 $\text{m}^2$ ,太阳能仅负担建筑物基本耗热量及部分冷风渗透负荷,设计日此部分全天热负荷约22000 $\text{kWh}/\text{d}$ ,其他冷风渗透负荷由锅炉负担(由热空气幕和空调系统供给),太阳能保证率约29%,太阳能夏季供冷的区域有售票厅、贵宾厅和内区办公用房,计算冷负荷750 $\text{kW}$ 。图6为该系统10月~次年4月份月平均日供暖负荷与太阳能提供的负荷对照图。

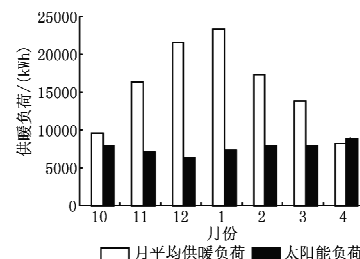


图6 月平均日供暖负荷与太阳能提供的负荷对照图

### 2.3 太阳能集热系统

根据当前国内太阳能供暖的工程使用情况及建设单位前期论证报告,暂按开式系统进行设计,若全年太阳能产生的热量均能合理利用,亦可采用加防冻液的闭式系统;开式系统采取的防冻措施为在夜间或集热器的温度低于设定值时自动排空集热器及室外管道内的存水。因采用开式系统,且有防冻要求,设计采用横排全玻璃真空管集热器,因受布置集热板面积的限制及对投资等因素的考虑,设计总集热面积为5059 $\text{m}^2$ 。

设计采用QB47 $\times$ 1500(真空管规格:47 $\times$ 1500 $\text{mm}$ ,60根)横排集热器,单组集热面积6.2

m<sup>2</sup>, 安装倾角 30°。

太阳能集热侧选用 6 台热水蓄热罐, 单罐蓄热容积 100 m<sup>3</sup>, 总蓄热容积 600 m<sup>3</sup>, 承压 0.6 MPa, 蓄热罐设在出站层设备用房内, 集热系统一次侧设有一个开式膨胀水箱(由两个水箱组成), 膨胀水箱兼作太阳能集热器防冻排空用储水箱, 水箱设置在 22 m 标高办公层。

## 2.4 供冷、供暖系统

夏季采用 2 台单效热水型溴化锂吸收式冷水机组, 单台机组的制冷量 380 kW, 吸收式冷水机组热源水进出温度 83 °C/78 °C, 吸收式冷水机组 COP 值约 0.65, 空调水系统采用一次泵变流量系统。

冬季采用换热机组集中供热, 热水循环泵变频控制, 采用低温热水地板辐射供暖系统, 设计供回水温度 45 °C/38 °C。图 7 为冷热源系统原理图。

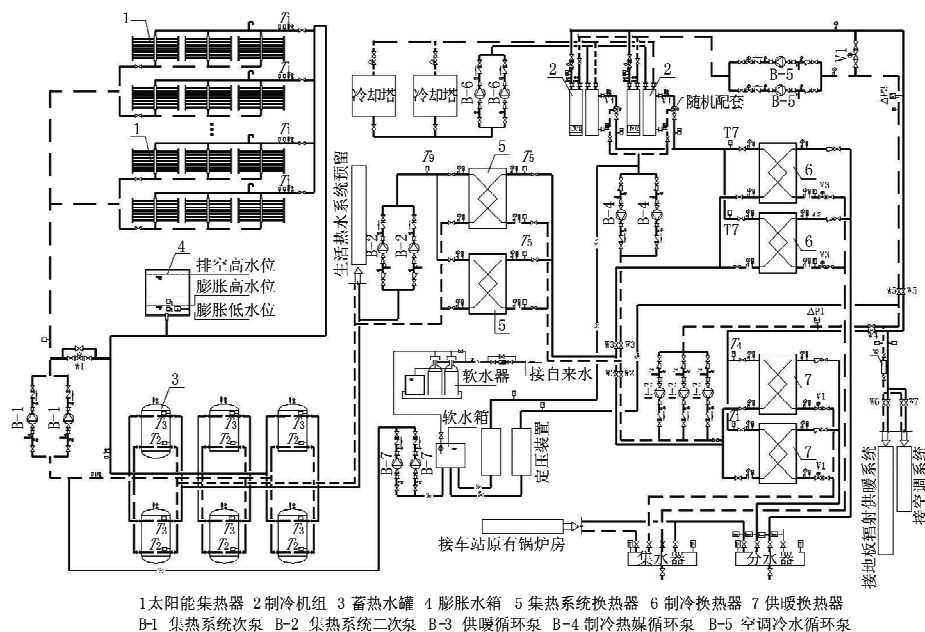


图 7 太阳能供暖空调系统原理图(开式系统)

## 2.5 系统控制

1) 太阳能集热系统采用温差循环控制, 当  $T_1 - T_2 > 6$  °C 时, B-1, B-2 泵启动, 当  $T_1 - T_2 < 3$  °C 时, B-1, B-2 泵停止。根据  $T_5$  控制 B-2 变频运行。2) 地板辐射供暖系统: 根据温度  $T_4$  控制辅助热源系统和电动调节阀 V1 的启动和调节, 当  $T_4 < 42$  °C 时, 辅助热源系统启动、电动阀 V1 开启调节, 当  $T_4 > 48$  °C 时, 电动阀 V1 关闭。由供回水总管的压差  $\Delta p_1$  控制 B-3 循环水泵变频运行。3) 制冷系统: 根据温度  $T_7$  控制辅助热源系统和电

动阀 V3 的启动和调节, 当  $T_7 < 80$  °C 时, 辅助热源系统启动、电动阀 V3 开启调节, 当  $T_7 > 93$  °C 时, 电动阀 V3 关闭; 由供回水总管的压差  $\Delta p_3$  控制旁通调节阀 V4 开启调节。4) 防冻控制: 当温度  $T_1$  降低至 4 °C 时, 防冻控制器自动开启阀门 W1 泄空屋面集热器及管道中的水, 同时设定定时泄水程序。5) 根据膨胀水箱的液位  $h_1$  控制补水泵 B-7 启停。

## 3 结语

3.1 当前制约太阳能在暖通领域应用的一个主要因素是太阳能集热器的价格过高, 随着太阳能技术的进步、太阳能集热器应用规模的不断扩大, 其生产成本必将大幅降低, 太阳能在暖通领域应用的经济性会越来越高。

3.2 利用太阳能夏季制冷, 冬季供暖, 春秋季节生产生活热水、加强自然通风, 这一综合应用的措施

会大幅提高太阳能应用的经济性。

3.3 太阳能集热器冬季防冻、夏季防空(闷)晒是太阳能应用中须重视的问题。

3.4 冬季供暖推荐采用低温热水地板辐射供暖系统, 夏季制冷应从制冷机组效率、集热器效率等方面综合考虑, 较高的供水温度会提高制冷机组的效率, 但会降低集热器的效率, 目前国内的一些示范项目中应用较多的是单效型溴化锂吸收式冷水机组及吸附式冷水机组。

3.5 太阳能系统与地源热泵系统相结合的思路, 弥补了太阳能因雨天及夜晚不足的缺陷, 充分利用了太阳能的资源, 该系统亦可利用地下埋管实现季节蓄热, 值得进一步探讨。

## 参考文献:

- [1] 建设部工程质量安全监督与行业发展司, 中国建筑标准设计研究院. 全国民用建筑工程设计技术措施 节能专篇 暖通空调·动力[M]. 北京: 中国计划出版社, 2007
- [2] 潘云钢, 金健. 太阳能在拉萨火车站供暖系统中的应用[J]. 暖通空调, 2007, 37(6): 53-58
- [3] 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, 2005