

# 交互水浴加热吸附式空调系统研究

刘锡林 张海丽 潘光宇 曹国强

新疆工程学院 新疆乌鲁木齐 830000

**摘要:** 本文提出交互水浴加热太阳能吸附式空调系统, 解决传统原有太阳能吸附式空调系统中存在太阳能利用的间歇性问题。系统可取代传统蒸汽压缩式制冷系统, 采用太阳能作为驱动热源, 降低碳排放。系统能够实现 24 小时连续制冷, 充分利用太阳能资源, 降低碳排放, 实现节能减排。

**关键词:** 吸附式制冷; 水浴加热; 太阳能

Research on adsorption air-conditioning system with interactive water bath heating

Liu Xilin, Zhang Haili, Pan Guangyu, Cao Guoqiang

Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830000

**Abstract:** This paper proposes an interactive water bath heating solar adsorption air-conditioning system to solve the intermittent problem of solar energy utilization in the traditional solar adsorption air-conditioning system. The system can replace the traditional steam compression refrigeration system, using solar energy as the driving heat source to reduce carbon emissions. The system can achieve 24-hour continuous cooling, make full use of solar energy resources, reduce carbon emissions, and achieve energy conservation and emission reduction.

**Keywords:** adsorption refrigeration; water bath heating; solar energy

## 1 研制背景及意义

随着人们对空调房间内环境舒适度要求日渐提升, 舒适性空调系统在民用建筑和公用建筑中得到了发展, 我国建筑耗能中空调系统用能已达到全部用能的 30% 以上<sup>[1-3]</sup>。在建筑中, 传统的空调系统多以蒸汽压缩式系统和吸附式空调系统为主, 对原有建筑领域的传统蒸汽压缩式空调系统进行改造是建筑节能改造的思路。蒸汽压缩式空调系统中压缩机运行时会产生噪声, 对环境亦产生噪声污染, 降低或减少压缩机产生的噪声也会提高人的舒适度, 同时对环境友善。

“十四五”规划关于能源方面有着重要论述和指示, 提出我国应该推进能源革命, 建设清洁低碳、安全高效的能源体系, 提高能源供给保障能力; 指出提高新能源和可再生能源竞争力, 推动新能源在行业中的利用, 促进农业、制造业、服务业、能源资源等产业协调发展; 提到能源资源富集地区具有较高的战略地位; 指出需要控制化石能源消费, 推动能源清洁低碳安全高效利用, 深入推进工业、建筑、交通等领域低碳转型。基于以上论述, 本文提出设计交互水浴加热太阳能吸附式空调系统应用于新疆地区。

新疆地区属太阳能资源丰富地区<sup>[4]</sup>, 该地区有很多景区和戈壁滩区, 气候特点显著, 太阳辐射强, 日照时间长, 年平均总辐射量高, 多数地区太阳光照辐射强度属一类地区<sup>[4]</sup>。在新疆地区建筑中引入空调系统十分必要。

基于以上, 本文拟以太阳能为驱动热源基础上对传统空调系统进行改造研究, 减少建筑电力能源的消耗, 建立绿色节能建筑, 减少对环境的噪声排放。

## 2 交互水浴加热吸附式空调系统工作原理

### 2.1 吸附式空调工作原理

吸附式空调系统工作原理图见图 1, 该系统主要由吸附床、冷凝器、蒸发器、节流阀等设备构成, 与传统制冷系统相比, 该系统需要由制冷剂 and 吸附剂组成工质对, 系统工作过程由吸热解吸过程和冷却吸附过程组成。当白天太阳辐射充足时, 吸附床吸收太阳辐射能后温度升高到一定值, 吸附床内压力升高, 制冷剂解吸, 进入冷凝器中经冷却介质冷却后凝结为液体, 再经过节流阀进入蒸发器储存起来; 当夜间或太阳辐射不足时, 吸附床温度降低, 吸附床工作压力低至蒸发器工质蒸发温度的饱和压力时, 蒸发器中的液态制冷剂开始蒸发制冷, 产生的蒸汽被吸附床中吸附剂吸附, 直至吸附

过程结束, 实现制冷循环。

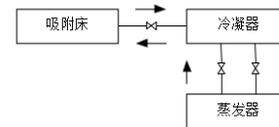


图 1 吸附式空调系统工作原理图

Fig. 1 Working principle diagram of adsorption air conditioning system

通过以上分析, 该系统不能实现连续制冷, 本设计拟将水浴加热装置加入系统, 实现对建筑房间进行降温, 同时利用吸附床余温, 提供生活热水。

### 2.2 工质选择

在勘察设计中, 要求制冷循环中工质对热力学性质方面、迁移性质方面、物理化学性质等方面均有要求, 但一般这些要求均针对蒸汽压缩式制冷循环工质。在吸附式制冷系统中, 工质往往成对出现, 理想的吸附工质对要求用较小的吸附热产生较大的吸附容量, 吸附质气化潜热大, 具有良好的导热性和扩散性, 热稳定性好, 无毒、无腐蚀、无污染、不可燃<sup>[5]</sup>。基于以上, 拟采用硅胶-水作为本文工质对, 其解吸温度较低 (100℃ 以下), 解吸性能好。

### 2.3 交互水浴加热吸附式空调系统工作原理

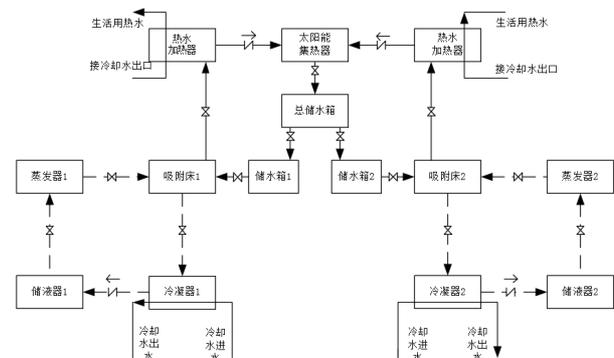


图 2 交互水浴加热吸附式空调系统工作原理图

Fig. 2 Working principle diagram of interactive water bath heating adsorption air conditioning system

本文研究的交互水浴加热吸附式空调系统工作原理图见图 2,。

白天,太阳能集热器将热水加热器出水加热至设定温度储存至总储水箱中,然后由总储水箱向储水箱1、2分别提供水浴加热热水,工作中1、2两侧系统每间隔固定时间交替制冷为房间提供冷量,当1侧系统制冷,蒸发器1中水蒸发,被吸附床1内硅胶吸附蒸发器流出的水蒸气,当制冷过程结束后,由储水箱1向吸附床提供水浴加热热水,使吸附床中水和硅胶分离,此时冷凝器开始工作,水蒸气在冷凝器中凝结,汇集在储液器1中,准备下一次循环工作。在整个系统中,1、2两个子系统设计相同,交替进行吸附、解吸,实现全天24小时连续制冷。

### 3 工程设计举例

吐鲁番地区是新疆重要景区,气候特点显著,吐鲁番地区太阳辐射强,日照时间长,年平均总辐射量 $5938.3\text{MJ}/\text{m}^2$ ,最多年辐射量 $6397\text{MJ}/\text{m}^2$ ,最少年辐射量 $5648\text{MJ}/\text{m}^2$ ,年中最大值出现在7月,为 $680\text{--}800\text{MJ}/\text{m}^2$ ,春季大于秋季。全年总日照时数平均为 $3056\text{h}$ ,年总日照时数最多达 $3350\text{h}$ ,最少 $2830\text{h}$ ,年日照百分率 $69\%$ ,太阳光照辐射强度属一类地区。该地区夏季从4月持续到9月,周期长,据统计日均最高气温超过 $30\text{C}$ ,是新疆地区气候的代表地区。本文对 $30\text{m}^2$ 房间做设计研究,房屋层高取 $3\text{m}$ ,假定南墙接受太阳辐射,南墙有两面窗户,其他墙壁设定为内墙均与空调房间或走廊临近,室内人体负荷按5人计算,房间性质拟为办公用途,室内负荷计算采用谐波反应法,储水箱1、2的储水量满足1小时供水量。

#### 3.1 负荷确定

室内设计温度按照《GB50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》舒适型空调制冷工况I级舒适度取 $t_N=26\text{C}$ ,负荷按照规范计算,逐时最大负荷出现在13时,为 $4\text{kW}$ ,全天负荷为 $58\text{kW}$ 。

#### 3.2 蒸发器传热

##### 3.2.1 各床参数确定

蒸发器传热按照风冷传热端差取 $8\text{C}$ ,蒸发温度则为 $18\text{C}$ 。对吸附床进行定容加热至 $60\text{C}$ ,水浴供水温度为 $85\text{C}$ ,吸附床加热过程取 $3\text{C}$ 端差,则水浴温度降低至 $63\text{C}$ 。由热力过程分析冷凝温度为 $t_k=21.1\text{C}$ ,制冷剂质量流量为 $5.91\text{kg}/\text{h}$ ,储液器体积计算取整为 $6\text{L}$ 。

##### 3.2.2 蒸发器传热

①蒸发器对数平均温差 $\Delta t_m$ 由式1计算:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (\text{式} 1)$$

式中 $\Delta t_{\max}$ ——室外干球温度与蒸发温度之差, $\text{C}$ ;

$\Delta t_{\min}$ ——室内设计温度与蒸发温度之差, $\text{C}$ 。

②蒸发器传热面积A由式2计算:

$$A = \frac{Q_0}{K\Delta t_m} \quad (\text{式} 2)$$

式中 $Q_0$ ——蒸发器冷负荷, $\text{kW}$ ;

K——换热过程传热系数,传热过程薄壁、相变传热、肋化系数较大,取传热系数为空气侧对流表面传热系数, $W/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

③蒸发器尺寸参数确定

选用纯铜光管外径 $d = 9.52\text{mm}$ ,铜管厚度 $0.35\text{mm}$ ,翅片选用铝套片,厚度 $\delta_f = 0.115\text{mm}$ ,翅片间距 $s_f = 1.8\text{mm}$ ,铜管排列方式为正三角形,叉排,翅片形式选择开窗片,铜管水平方向间距 $s_1 = 25.4\text{mm}$ ,铜管竖直方向间距 $s_2 = 25.4\text{mm}$ ,经计算验证,翅片管肋化系数得 $20.44$ ,取空气对流表面传热系数 $\alpha_{\text{空气}} = 50\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  [7]。蒸发器几何尺寸为 $1.2\text{m} \times 1.0\text{m} \times 0.09\text{m}$ 。

#### 3.3 冷凝器传热

①冷凝器对数平均温差 $\Delta t_m$ 参照式1计算。

②冷凝器传热面积A由式2计算。

通过努塞尔数计算出对流表面换热系数 $h = 3941\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。考虑铜管导热性能好,且管壁厚,凝结换热效果好,传热过程中取传热系数等于水侧对流表面换热系数 $K = h = 3941\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

③冷凝器尺寸参数确定

选用纯铜管,管束正三角形布置,壳体采用钢板,直径 $0.13\text{m}$ ,长 $0.7\text{m}$ 。

#### 3.4 吸附床及太阳能集热器

##### 3.4.1 吸附床硅胶量

采用细孔硅胶干燥剂,空气相对湿度 $50\%$ ,其吸附量 $\geq 25\%$ ,空气相对湿度 $20\%$ ,其吸附量 $\geq 12\%$ 。硅胶干燥剂的一般吸水量是 $25\% \text{--} 32\%$ 。吐鲁番地区相对湿度为 $15\%$ ,取硅胶的吸附率为 $10\%$ 可满足富裕量要求,吸附床硅胶体积为 $78.8\text{L}$ ,质量为 $59.1\text{kg}$ 。

##### 3.4.2 太阳能集热器

吐鲁番太阳能辐射强度 $540\text{W}/\text{m}^2$ ,根据单台吸附床所需最大热量 $30.12\text{L}$ ,总用水量 $436.5\text{L}$ ,储水箱1、2的体积分别取 $31\text{L}$ ,总储水箱体积取 $440\text{L}$ 。选用长 $1.8\text{m}$ ,直径 $58\text{mm}$ 真空管,则单管吸热面积 $= 0.328 \times 0.058 \times 1.8\text{m}^2 = 0.328\text{m}^2$ ,单管吸热量 $= 0.328 \times 540\text{W} = 177\text{W}$ ,太阳能集热器总负荷 $= \frac{4.18 \times 436.47 \times (85 - 43) \times 1000}{3600 \times 10} \text{W} = 2128.5\text{W}$ ,总管数 $= \frac{2128.5}{177} = 12$ 根。

##### 3.4.3 吸附床

选取 $\varnothing 25 \times 3.5\text{PVC}$ 热水管,单管长选用 $1\text{m}$ ,78根可满足设计需求,取吸附床截面 $0.5\text{m} \times 0.4\text{m}$ 。

##### 3.4.4 产生活热水量

根据产生活热水总负荷得热量 $952\text{L}/\text{d}$ 。

### 4 结论

系统能够实现24小时连续制冷,为室内提供舒适温度空间,降低电能消耗,同时能够提供一定温度生活热水,可在太阳能资源丰富地区试用推广,降低碳排放,实现节能减排。本工程计算结果对比2.5-3匹空调制冷面积相当。设备成本小于市场3匹空调成本,同时运行耗电成本亦节省。具体优点如下:

- ①利用吸附式制冷系统为建筑降温,工质为水-硅胶,对环境友善;
- ②取代传统蒸汽压缩式制冷系统,采用太阳能驱动,降低碳排放;
- ③采用水浴加热系统解决了太阳能间歇性的缺点;
- ④降低系统噪声。

### 参考文献:

- [1]黄华瑞等. 太阳能光热利用浅析[J]. 太阳能, 2015, (12): 13-18.
  - [2]吴俊伟. 太阳能光热与光伏制冷系统对比分析[J]. 制冷技术, 2016, (36): 43-48.
  - [3]朱斌祥等. 太阳能驱动吸收式与吸附式制冷技术的比较分析研究[J]. 流体机械, 2016, (44): 81-86.
  - [4]左然,施明恒,王希麟,徐谦. 可再生能源概论(第二版)[M]. 北京:机械工业出版社, 2019.
  - [5]刘家林,郑学林. 太阳能固体吸附式制冷技术的研究与进展[J]. 绿色科学, 2011, (9): 188-191.
  - [6]景朝辉. 热工理论及应用[M]. 北京:中国电力出版社, 2006.
  - [7]陶文铨. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社, 2019.
  - [8]王志远,盛伟. 制冷原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2019.
- 作者简介:刘锡林,男,民族:汉族,籍贯:辽宁辽阳,出生年月:1987年1月,学历:硕士研究生,现有职称:讲师,具体研究方向:节能技术与应用。

注:基金项目:新疆工程学院科研育人项目(2019xgy662112)。