

文章编号: 1671-6612 (2020) 04-477-04

一种太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组 空调系统的应用研究

胡志鹏¹ 刘华凯¹ 郝占栋²

(1.山东省产品质量检验研究院 济南 250102;

2.山东奇威特太阳能科技有限公司 德州 253022)

【摘要】 为了利用“太阳能+”多能互补清洁供热项目夏季产生的热量,设计增加了一套可提供工业用低压蒸汽的系统 and 一套太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组空调系统,可同时实现夏季制冷和生产蒸汽;监测了四个典型天气条件下太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组空调系统的运行数据;提出了太阳能贡献率、节煤量、CO₂减排量的计算方法。

【关键词】 太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组空调系统;“太阳能+”多能互补清洁供热;能源阶梯利用
中图分类号 TU832.2 **文献标识码** A

Application Study on an Air Conditioning System of Solar Thermally Assisted Lithium Bromide Absorption Refrigeration Unit

Hu Zhipeng¹ Liu Huakai¹ Hao Zhandong²

(1.Shandong Institute for Product Quality Inspection, Jinan, 250102; 2.Vicot Solar Technology Co., Ltd, Dezhou, 253022)

【Abstract】 In order to make use of the heat generated in the summer by the "solar +" multi-energy complementary clean heating project, a set of low-pressure steam system for industrial use and a set of air conditioning system of solar thermal auxiliary lithium bromide absorption refrigeration unit were designed, which can realize the summer cooling and steam production at the same time. The operation data of the air conditioning system of four typical weather conditions were monitored. The calculation methods of solar contribution rate, coal saving and CO₂ emission reduction were put forward.

【Keywords】 Solar thermal auxiliary lithium bromide absorption refrigeration unit air conditioning system; "Solar +" multi-energy complementary clean heating; Energy ladder utilization

基金项目: 太阳能光热发电及热利用关键技术标准研究

作者(通讯简介)简介: 胡志鹏(1981.8-),男,硕士,工程师, E-mail: huzhipeng@sdqi.com.cn

收稿日期: 2020-05-10

0 引言

为有效促进能源节约、实现新旧动能转换,2012年起山东省开展实施《山东省“工业绿动力”计划》,鼓励在屠宰、纺织、印染、造纸、食品加工等行业建设“太阳能+”多能互补清洁供热项目,解决企业生产加工用热问题,尤其是冬季采暖问题。

然而,到了夏季,由于基础水温较高,并且无采暖需求,生产用热水负荷相对较低,天气晴朗时,较高太阳辐照下太阳能集热系统可能会出现过热状态,加速设备老化,影响设备使用寿命。采用一定的技术手段,研究能够充分利用太阳能集热系统夏季多余的热能,并将其转换成可以解决夏季工业生

产车间普遍存在的闷热潮湿问题的制冷装置, 对企业改善生产加工车间环境, 提高太阳能系统利用率都是非常必要的。

以太阳能热为驱动力的制冷技术具有节能减排等重要意义, 已然成为制冷空调研究的热点^[1-5]。太阳能热辅助驱动式制冷可分为太阳能吸收式空调(溴化锂-水吸收式空调系统、氨-水吸收式制冷系统)、太阳能吸附式制冷空调(活性炭甲醇吸附式制冷系统、活性炭-氨吸附式制冷系统、氯化锂-氨吸附式制冷系、硅胶-水吸附式制冷系统、分子筛-水吸附式宽调系统)、太阳能驱动除湿空调^[6]。本文针对×面粉有限公司的“太阳能+”多能互补清洁供热项目夏季热量过剩问题, 设计了增加了一套槽式太阳能集热系统驱动的双能源溴化锂吸收式空调系统(以下简称: 太阳能空调系统)及一条可提供工业用低压蒸汽的管路, 可用原供热项目集热器的预先加热工业用低压蒸汽的管路中的水, 然后使用太阳能空调系统的高温导热油加热产生蒸汽;

描述了太阳能空调系统的组成及工作原理, 选取了四个典型天气条件对太阳能空调系统的运行状况进行了监测。

1 “太阳能+”多能互补清洁供热项目

“太阳能+”多能互补清洁供热项目(以下称采暖系统)是将太阳能作为清洁供热的重要能源, 并与空气能、地热能、生物质能、电能、天然气等能源相结合, 不使用煤炭等传统能源, 实现清洁供热。该项目位于××面粉有限公司, 采用太阳能+燃气锅炉多能互补采暖模式。太阳能集热系统采用252套真空管型集热器连接而成, 总集热面积1915m², 集热器安装倾角15°; 每台真空管型集热器由50支长度1800mm、直径58mm的真空集热管组成, 真空集热管闷晒辐照量参数: 4.1MJ/m²; 蓄热水箱容量150吨, 采暖面积5300m²。部分设备(集热器、蓄热水箱、辅助燃气锅炉)如图1所示。

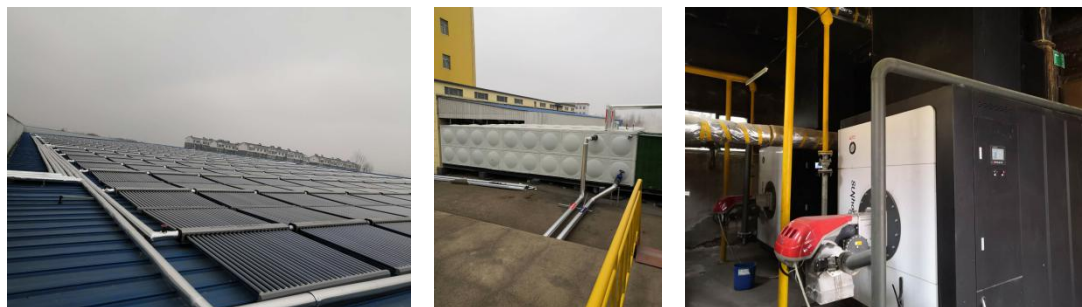


图1 “太阳能+”多能互补清洁供热项目

Fig.1 "Solar +" multi-energy complementary clean heating project

2 设计增加的工业用热系统和太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组空调系统

2.1 工业用热系统

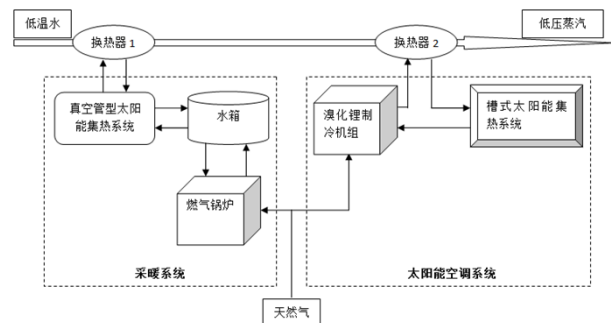


图2 耦合系统设计图

Fig.2 Coupling system design diagram

为了解决夏季较高太阳辐照下太阳能集热系统可能会出现过热状态, 特设计安装了工业用热系统, 将低温水通过换热器1与“太阳能+”多能互补清洁供热系统中的真空管型太阳能集热系统中的热水换热, 可产生大约50℃~60℃的热水, 如图2; 然后通过换热器2与太阳能空调系统中的槽式太阳能集热系统中的导热油换热, 再次提温, 可产生高温热水或低压蒸汽, 供工业生产用。

2.2 太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组空调系统

设计增加一套太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组空调系统(以下简称太阳能空调系统), 一则夏季可以为车间或办公楼提供制冷; 二则可以产

生工业生产用的高温热水或低压蒸汽。太阳能空调系统主要由抛物面槽式太阳能集热系统, 主油泵, 蓄能器, 高低位槽, 油气分离器, 溴化锂吸收式制冷机组, 控制系统, 冷却塔等组成, 其中槽式集热系统集热面积 360m², 聚光比为 60, 东西方向追日,

溴化锂吸收式制冷机组额定制冷功率 233kW, 辅助能源为天然气, 系统末端采用风机盘管。系统部分设备(槽式太阳能集热器、溴化锂吸收式制冷机组)如图 3 所示。



图 3 槽式太阳能集热系统和溴化锂吸收式制冷机组

Fig.3 Trough solar collector system and LiBr absorption refrigeration unit

3 太阳能空调系统运行原理和运行数据监测

3.1 太阳能空调系统运行原理

槽式太阳能集热器根据当天太阳辐照情况自动运行, 收集太阳能, 用来加热导热油, 使用高温导热油(通常 150℃~180℃)将热量传递到溴化锂吸收式制冷机组。在制冷机运行过程中, 当溴化锂水溶液在发生器内受到高温导热油加热/火焰加热后, 溶液中的水不断汽化; 水蒸气进入冷凝器, 被冷却水降温后凝结; 随着水的不断汽化, 发生器内的溶液浓度不断升高, 进入吸收器; 当冷凝器内的水通过节流阀进入蒸发器时, 急速膨胀而汽化, 并在汽化过程中大量吸收蒸发器内冷媒水的热量, 从而达到降温制冷的目的; 在此过程中, 低温水蒸气进入吸收器, 被吸收器内的浓溴化锂溶液吸收, 溶液浓度逐步降低, 由溶液泵送回发生器, 完成整个循环, 如图 4。

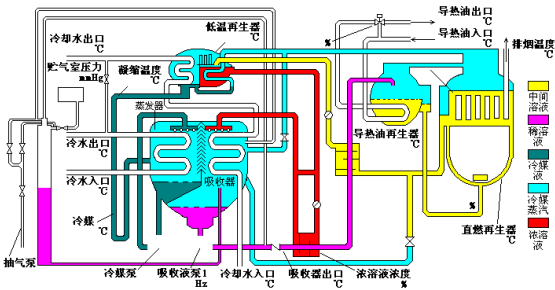


图 4 溴化锂吸收式制冷机组运行示意图

Fig.4 Schematic diagram of LiBr absorption refrigerating unit

3.2 太阳能空调系统运行数据监测和结果分析

选取了四个典型天气条件, 太阳总辐照量分别为 5.55MJ/m²、8.93MJ/m²、15.51MJ/m² 及 20.37MJ/m², 对太阳能空调系统的集热器日平均进油温度、日平均出油温度、空调末端日平均进水温度、日平均出水温度、天然气消耗量及气象条件等运行数据进行了监测, 监测数据如表 1 所示。

表 1 四个典型天气条件下太阳能空调系统运行数据

Table 1 Operating data of solar air conditioning systems under four typical weather conditions							
日均室外 环境温度 ℃	总辐照量 MJ/m ²	直射 辐照量 MJ/m ²	集热器日平均 进油温度 ℃	集热器日平 均出油温度 ℃	天然气 消耗量 Nm ³	空调末端日 平均出水温度 ℃	空调末端日 平均回水温度 ℃
31.4	15.51	11.50	147.8	157.9	43	8.5	11.5
30.5	20.37	15.09	146.0	164.3	0	7.3	10.7

29.8	8.93	6.41	132.0	138.3	125.2	8.2	11.2
29.6	5.55	3.94	120.4	124.2	97	8.4	9.7

太阳能空调系统运行期间 (8:30~16:00), 导热油循环泵流量为 18m³/h, 导热油密度为 1008kg/m³, 比热容为 2.4kJ/(kg·°C); 水路循环流量为 36m³/h, 密度为 998kg/m³, 比热容为 4.2kJ/(kg·°C); 天然气平均低位发热值 38.931MJ/kg,

密度 0.7174kg/Nm³; 计算了太阳能空调系统集热器集热量、消耗天然气产热量、集热器集热效率、太阳能贡献率、制冷机组制冷量及制冷效率的参数, 数据汇总如表 2 所示。

表 2 太阳能空调系统运行参数

Table 2 Operating parameters of solar air conditioning system

总辐照量 MJ/m ²	集热器集热量 MJ	消耗天然气产热量 MJ	集热器集热效率 %	太阳能贡献率 %	制冷机组制冷量 MJ	制冷效率 %
15.51	3298.58	1200.95	59.08	73.31	3621.54	80.49
20.37	5976.63	0	81.50	100.00	4104.41	68.67
8.93	2057.53	3496.72	64.00	37.04	3621.54	65.20
5.55	1241.05	2709.12	62.11	31.42	1569.34	39.73

通过表 2 的数据可以得出: 当太阳总辐照量为 20.37MJ/m² 时, 集热器集热效率最大, 为 81.50%; 太阳总辐照量为 5.55MJ/m²、8.93MJ/m²、15.51MJ/m² 时, 集热器集热效率分别为 62.11%、64.00%、59.08%, 相差不大。当太阳总辐照量为 15.51MJ/m² 时, 溴化锂制冷机组制冷效率最大, 为 80.49%; 当太阳总辐照量为 8.93MJ/m² 和 20.37MJ/m² 时, 溴化锂制冷机组制冷效率分别为 65.20%、68.67%; 当太阳总辐照量为 5.55MJ/m² 时, 溴化锂制冷机组制冷效率最小, 为 39.73%。

4 系统经济性和节能环保性评价

一个系统的设计除了考虑技术可行性, 还应对其经济性进行分析, 同时要衡量其对环境是否有利^[7], 本文提出了太阳能贡献率^[8]、节煤量、CO₂ 减排量的计算方法。

4.1 太阳能贡献率

$$\eta = \frac{(d_1 \times \eta_1) + (d_2 \times \eta_2) + (d_3 \times \eta_3) + (d_4 \times \eta_4)}{(d_1 + d_2 + d_3 + d_4)} \times 100\%$$

式中: η 为太阳能贡献率, %; η_1 为采暖期或制冷期当地日太阳辐照量小于 8MJ/m² 时测得的太阳能贡献率, %; η_2 为采暖期或制冷期当地日太阳辐照量大于等于 8MJ/m² 且小于 12MJ/m² 时测得的太阳能贡献率, %; η_3 为采暖期或制冷期当地日太阳辐照量大于等于 12MJ/m² 且小于

16MJ/m² 时测得的太阳能贡献率, %; η_4 为采暖期或制冷期当地日太阳辐照量大于等于 16MJ/m² 时测得的太阳能贡献率, %; d_1 为采暖期或制冷期当地日太阳辐照量小于 8MJ/m² 的天数; d_2 为采暖期或制冷期当地日太阳辐照量大于等于 8MJ/m² 且小于 12MJ/m² 的天数; d_3 为采暖期或制冷期当地日太阳辐照量大于等于 12MJ/m² 且小于 16MJ/m² 的天数; d_4 为采暖期或制冷期当地日太阳辐照量大于等于 16MJ/m² 的天数。

4.2 节煤量

$$M_{ce} = \frac{Q_c + Q_k}{Q_{net}}$$

式中: M_{ce} 为节省标煤的量, kg; Q_c 为采暖系统中太阳能贡献的热量, kJ; Q_k 为太阳能空调系统中太阳能贡献的热量, kJ; Q_{net} 为标煤的低位热值, kJ/kg。

4.3 CO₂ 减排量

$$M_c = M_{ce} \times F_c$$

式中: M_c 为 CO₂ 减排量, kg; M_{ce} 为节省标煤的量, kg; F_c 为标煤的 CO₂ 排放因子, kg CO₂/kgce。

5 结论

(1) 在原“太阳能+”多能互补清洁供热项目的基础上设计增加了一套可提供工业用低压蒸汽的系统和一套太阳能热辅助溴化锂吸收式

制冷机组空调系统,蒸汽系统入口的低温水首先吸收“太阳能+”多能互补清洁供热项目夏季产生热量,初步升温,再吸收太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组空调系统中太阳能集热系统的热量,形成蒸汽;同时太阳能热辅助溴化锂吸收式制冷机组空调系统可用于夏季制冷。

(下转第 499 页)