

文章编号: 1671-6612 (2021) 06-884-05

供暖季太阳能热泵冷热联供系统节能减排分析

韩强¹ 刘培陶² 魏翠琴³ 问朋朋³ 贾少刚²

(1. 青岛海尔开利冷冻设备有限公司 青岛 266500;

2. 中国船级社质量认证公司青岛分公司 青岛 266071;

3. 湖州职业技术学院 湖州 313000)

【摘要】 开发利用新能源和高效节能技术是解决能源与环境问题的重要途径,太阳能和热泵技术的有机结合应用具有显著的节能环保效果。以湖州市某宾馆为研究对象,设计了一套中央式双热源冷热三联供太阳能系统,对其运行模式进行了分析,并对其供暖季下的节能量与减排量进行了计算分析,结果表明其节能减排效益良好,可以为太阳能热泵系统的实际应用提供理论依据。

【关键词】 太阳能; 热泵; 运行模式; 节能量; 减排量

中图分类号 TK512 文献标识码 A

Energy Saving and Emissions Reduction Analysis on Solar-assisted Heat Pump for Supplying Combined Cooling Heating and Hot Water in Heating Season

Han Qiang¹ Liu Peitao² Wei Cuiqin² Wen Pengpeng³ Jia Shaogang³

(1. Qingdao Haier-CARRIER Refrigeration Equipment Co., Ltd, Qingdao, 266071;

2. China Classification Society Certification Company Qingdao branch, Qingdao, 266071;

3. Huzhou Vocational & Technical College, Huzhou, 313000)

【Abstract】 The utilization of new energy resources and excellent energy saving technology is the significant way to solve the problem of energy and the environment, the combination of solar and heat pump technology application has outstanding effect of energy conservation and environmental protection. Taking a hotel in Huzhou as the research object, a central solar-assisted heat pump (SAHP) with dual heat source is designed for supplying combined cooling heating and hot water throughout the year, meanwhile its running mode are analyzed, the energy saving and emission reduction of SAHP in heating season are calculated and analyzed, and the results show that the benefits of energy saving and emission reduction are good, which can provide theoretical basis for its practical application.

【Keywords】 Solar energy; heat pump; running mode; energy saving; emissions reduction

作者(通讯作者)简介: 韩强(1985-),男,硕士,工程师, E-mail: 18660298300@163.com

收稿日期: 2021-04-30

0 引言

能源、环境、碳减排是当今的热点问题,目前我国建筑能耗(采暖、制冷及热水等)约占全社会总能耗的30%^[1],随着社会发展这一比例会继续上升。建筑能耗直接或间接地消耗了大量一次能源并污染了环境,因此通过新能源和节能技术的开发利

用来降低建筑能耗越来越受到重视,作为清洁能源的太阳能和高效节能的热泵技术得到了极大的关注和应用^[2,3]。太阳能光热利用和热泵型空调已在我国得到广泛应用,但两者之间的有机结合应用还比较少,两者的结合应用可以克服太阳能受天气条件影响的缺点,也提高了系统稳定性,并拓宽了其

应用范围,可应用于建筑物制冷供暖、生活热水供应、农业温室供热、农产品干燥等领域,目前国内学者对太阳能热泵技术展开了积极研究^[4-10],因此将太阳能热泵技术应用于建筑物的制冷、供暖和热水的同时供给(冷热暖三联供)在有效降低建筑能耗的同时还可积极促进能源消费的转型升级与节能环保技术的应用推广,对社会的可持续发展具有重要意义。

1 冷热暖三联供太阳能热泵系统结构与运行模式分析

1.1 冷热暖三联供太阳能热泵系统结构设计

为满足中小型宾馆、酒店等的冬季供暖、夏季制冷和全年生活热水所需,结合不同类型太阳能热泵系统的结构形式,设计了双热源混联式冷热暖三联供太阳能热泵系统,如图 1 所示,该系统由太阳能集热器、热泵机组、水箱、泵、换热器等设备部件组成。

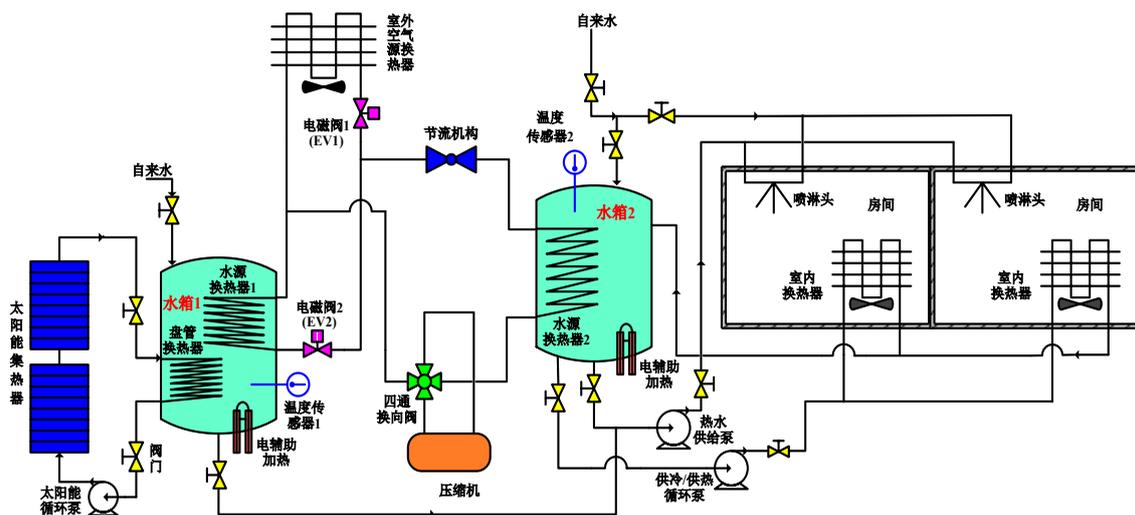


图 1 三联供太阳能热泵系统结构示意图

Fig.1 Structural representation of SAHP device

太阳能集热介质在集热器内部管路、水箱中的盘管换热器及连接管路中闭式循环流动,在集热器中吸收阳光辐射能并通过盘管换热器加热水箱 1 中的水,集热介质可采用特殊流体(如乙二醇、丙二醇、丙三醇等水溶液)起到防冻、防腐蚀和防结垢的目的,既可延长设备寿命也可减少维护工作量。

热泵设置了三个换热器,1 个空气源换热器,水箱 1 中及水箱 2 中各 1 个水源换热器。热泵在工作过程中通过四通换向阀的切换,实现对水箱 2 中水的制冷或者制热效果;通过电磁阀 1 和电磁阀 2 的开启与关闭实现对水源换热器 1 和空气源换热器的投入或者退出运行,当水源换热器 1 投入运行时可实现水箱 1 中的水与热泵的热交换,热泵既可以加热水箱 1 中的水,也可以从水箱中的水吸取热量,从而实现不同的应用目的;水源换热器 1 退出运行时即空气源换热器投入运行,热泵此时向空气释放或者吸收热量。

1.2 太阳能热泵运行模式分析

结合建筑物不同季节的冷热暖需求和太阳能热泵系统结构,其运行模式分析如下:

(1) 太阳能运行模式。无论任何季节,只要在阳光辐照度较好的情况下太阳能均可运行来加热水箱 1 中的水,获得的热水既可用于日常生活所需,也可以在冬季作为热泵水源换热器 1 的低热热源。太阳能为清洁可再生能源,对其有效利用可以大大节约其他能源。

(2) 夏季热泵制冷模式。此时水箱 2 中的水为冷水,供给到房间换热器起到制冷作用;此模式下水源换热器 2 为蒸发器起到制冷作用使水箱 2 中的水变冷,水箱 2 中的冷水再被供冷循环泵供给到房间进行制冷;而空气源换热器或者水源换热器 1 作为冷凝器起到散热作用,当水箱 1 中的水温未达到设定值时水源换热器 1 投入运行,当水箱 1 中的水温达到设定值时水源换热器 1 退出运行同时空气源换热器投入运行,水箱 1 中的热水可供给房间使用。

当空气源换热器投入运行时,热泵运行过程中仅制冷效果得到利用;因阴雨天、夜间或者日间阳光辐照度较弱,太阳能无法提供足够热量时,水源换热器 1 投入运行加热水箱 1 中的水得到热水,此时热泵的运行过程制冷量和制热量同时得到了利用,热泵 COP_h 大大提高,相较热泵单独制冷或者使用电热水器、燃气热水器获得热水,其节能效果十分显著。

(3) 冬季热泵制热模式。此模式下水源换热器 2 为冷凝器起到制热作用,空气源换热器或水源换热器 1 为蒸发器起到吸热作用;此时水箱 2 中的水为热水,供给到房间供暖或者直接使用;水箱 1 中的水为热泵水源换热器 1 的低温热源。因冬季环境温度较低且太阳辐照度较弱,此时太阳能热泵系

统宜以串联方式运行——太阳能加热水箱 1 制取的低温热水为热泵水源蒸发器 1 的低温热源,一方面可以提高太阳能集热器的效率^[11],另一方面因蒸发温度的提高,热泵的 COP_h 也有效提高^[12-14],系统的 COP_s 也提高了,这意味着太阳能热泵系统运行过程中的能耗减少了;当阴雨天或者阳光辐照度较弱时启动电辅助加热水箱 1 中的水,以改善热泵的运行工况。

太阳能热泵系统在不同季节条件下选择不同的运行模式,既可以尽量多的利用太阳能,也提高了系统的能效比,可获得较好的节能效益,使系统实现全年节能运行,系统的运行模式与效益分析如表 1 所示。

表 1 太阳能热泵系统运行模式与效益分析

Table 1 Running mode and benefit analysis of SAHP

季节	环境工况	运行模式	节能效益分析
冬季	环境温度低 太阳辐照较强	EV1 关闭, EV2 开启, 太阳能与水源热泵串联运行	提高了水源换热器 1 的蒸发温度, 改善压缩机工况, 提高了系统 COP_s , 节能效果较好
	环境温度低 太阳辐照弱 多云阴雨天气	EV1 关闭, EV2 开启, 必要时开启电辅助加热, 太阳能与热泵串联运行	提高了水源换热器 1 的蒸发温度, 改善了压缩机工况, 消耗了额外电能, 有一定节能效果
	晴好天气	EV1 开启, EV2 关闭, 太阳能与空气源热泵各自单独运行	水箱 2 制取冷水, 水箱 1 由太阳能制取热水, 有一定节能效果
夏季	多云阴雨天气	EV1 关闭, EV2 开启, 热泵制冷模式运行	水箱 2 制取冷水同时水箱 1 由热泵制取热水, 提高了热泵 COP_h , 节能效果很好
	晴好天气	热泵不运行, 太阳能单独运行, 开窗通风	太阳能制取热水, 有一定节能效果
春秋季	多云阴雨天气	EV1 关闭, EV2 开启, 热泵制冷模式运行	热泵制取热水, 有一定节能效果

2 房屋冬季热负荷需求

2.1 房屋冬季围护结构热负荷

本文以湖州市某宾馆为研究对象,该宾馆共计 5 层,每层 20 个房间,每个房间的面积为 15m²,宾馆的总建筑面积约为 1700m²。采用《GB50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中的节能型住宅采暖热负荷 45W/m² 进行房屋围护结构热负荷的计算,宾馆平均入住率为 50%,则该宾馆供暖季供暖热负荷为 38250W,围护结构日均耗热量 Q_D 为 3.305GJ,供暖季供暖耗热量为 297.45GJ,如表 2 所示。

表 2 房屋供暖耗热量

Table 2 Heat consumption of building envelope in winter

供暖季	供暖热负荷 Q_F/W	日耗热量 Q_D/GJ	供暖围护结构耗热量 Q_w/GJ
12 月~2 月	38250	3.305	297.45

2.2 生活新水需求热负荷

参考水利部 2019 年下发的《服务业用水定额 宾馆》中的规定,南方地区星级以下宾馆每床每天的生活用水量为 195L~348L;则每个床位每天用水量取均值为 270L/(床·天),其中热水量按照 100L/(床·天)进行计算,宾馆入住率为 50%,每

日热水用量为 10000L, 则在一定初始水温情况下将新水加热至 55°C 所需要的热量 Q_{nw} 由式 (1) 计算, 新水初温取冬季期间环境温度的平均值 5°C 即可, 则每天加热新水所需的热量为 2.09 GJ, 供暖季新水加热所需的热量为 188.10GJ。

$$Q_{nw} = \rho_0 \times C_{p0} \times V_0 \times (T_e - T_b) \quad (1)$$

式中, ρ_0 为水的密度, 998.2kg/m³; C_{p0} 为水的定压比热容, 4.18×10³J/(kg·°C); V_0 为新水的体积 m³; T_e 为新水终温, 55°C; T_b 为新水初温, 5°C。

表 3 生活用水耗热量

Table 3 Heat consumption of new water

新水温升 /°C	日需水量 /L	日需热量 /GJ	供暖季新水耗热量 /GJ
50	10000	2.09	188.10

结合上述的计算结果, 该宾馆供暖季 (12 月-2 月) 的总需热量为 485.55GJ。

3 应用太阳能热泵系统的节能减排分析

3.1 节能性能分析

太阳能热泵系统运行时仅消耗电能, 将低品位的太阳能和空气能提升为高品位热能, 因此采用太阳能热泵系统供暖供水的一次能源年节能量 Q_s 为由式 (2) 计算, 年节约标煤量 M_c 由式 (3) 计算, 结果如表 4 所示。可知与宾馆采用小燃煤锅炉相比, 采用太阳能热泵系统供暖供水在供暖季的节能率 η_g 可达 72%, 可节约标煤约 17.30 吨, 节能效果十分显著。

$$Q_s = Q_Y \left[1 - (1 - \eta_s) \times \frac{1}{\varepsilon_c} \right] \quad (2)$$

$$M_c = \frac{Q_Y}{q_c} \times \left(\frac{1}{\eta_b} - \frac{1 - \eta_s}{\varepsilon_c \times \eta_e} \right) \quad (3)$$

采用太阳能热泵系统对建筑物进行供暖供水的一些已知和假设的条件如下:

- (1) 热泵的制热系数 ε_c 取值为 2.5 计算^[15] (已将太阳能热泵系统消耗的所有电能考虑进去)。
- (2) 火力发电厂超临界机组的发电效率 $\eta_e=45\%$ ^[16]。
- (3) 标煤的热值 $q_c=29.307\text{MJ/kg}$ 。
- (4) 家用小锅炉的燃烧效率为 $\eta_b=60\%$ ^[17]。
- (5) 太阳能提供的热量占比 η_s 为 30%, 其余 70% 热能由热泵提供。

表 4 供暖季节能率与节煤量

Table 4 A heating season of fractional energy saving and amount of coal saving

供暖季总耗热量 Q_Y/GJ	供暖季节能量 Q_s/GJ	供暖季节节能率 $\eta_g/\%$	供暖季节标煤量 M_c/t
485.55	349.60	72	17.30

3.2 减排性能分析

减排评价指标主要是考虑 CO₂、SO_x、NO_x、粉尘等污染物的排放削减量, 表 5^[18,19] 中列出了生产每兆焦耳热能排放的相关污染物的定额指标, 以此宾馆供暖季节能 349.60GJ 计算, 则供暖季应用太阳能热泵系统的污染物减排量如表 5 所示, 可知 CO₂ 减排量约为 40 吨, SO_x 减排量为 2.8 吨, NO_x 减排量为 150 千克, 粉尘减排量为 185 千克, 减排效果良好。

表 5 我国污染物排放指标与供暖季污染物减排量

Table 5 Domestic pollutants discharge standard and Reduction of pollutants in a heating season

污染物	排放定额指标	节能量	污染物减排量
CO ₂	115.12 g·MJ ⁻¹	349600 MJ	40246 kg
SO _x	8.12 g·MJ ⁻¹	349600 MJ	2838 kg
NO _x	0.43 g·MJ ⁻¹	349600 MJ	150 kg
粉尘	0.53 g·MJ ⁻¹	349600 MJ	185 kg

4 结语

设计了冷热电三联供太阳能热泵系统为建筑物制冷、供暖和热水, 并对其运行模式进行了分析; 针对湖州市某建筑面积为 1700m² 的宾馆, 对其供暖季采用太阳能热泵系统的节能减排效益进行了分析, 得到如下结论:

(1) 太阳能热泵系统串联模式运行下既提高了太阳能集热器的效率, 也提高了热泵 COP_h , 从而系统整体 COP_s 得到了有效提高; 任何季节天气条件下, 无论是太阳能还是热泵制取热水, 相比较电热水器或者燃气热水器制取热水均可实现一定的节能效果。

(2) 相比传统燃煤供暖, 建筑物供暖季应用太阳能热泵系统的一次能源节约率可达 72%, 供暖季可节约标煤 17.30 吨, CO₂、SO_x、NO_x、粉尘等减排效果良好。

太阳能热泵技术的广泛应用对于缓解能源危

机、减少碳排放及环境污染具有重要意义,节能减排效益显著,应用前景广阔。

参考文献:

- [1] 彭金梅,罗会龙,崔国民,等.热泵技术应用现状及发展动向[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2012,37(5):54-59.
- [2] 王伟,南晓红.热泵辅助型太阳能热水装置应用低碳性分析[J].制冷与空调,2012,26(4):349-352.
- [3] 刘鹏,关欣,穆志君,等.太阳能热泵技术在国内的研究与发展[J].化工进展,2009,28(增刊):328-333.
- [4] 王伟,王建颖.银川地区热泵辅助太阳能热水系统设计探讨[J].制冷与空调,2015,29(2):169-173.
- [5] 周光辉,刘寅,张岑,等.太阳能辅助空气源复合热泵冬季供热特性实验研究[J].太阳能学报,2011,32(11):1662-1664.
- [6] 贾少刚,王丽萍,魏翠琴,等.双热源冷热三联供太阳能热泵系统设计与运行模式分析[J].制冷与空调,2018,32(1):27-30.
- [7] 陈冰,罗小林,毕方琳,等.温室太阳能与空气源热泵联合加温系统的试验[J].中国农业科技导报,2011,13(1):55-59.
- [8] 贾少刚,王丽萍,魏翠琴,等.冷热三联供太阳能热泵系统冬季工况下的节能减排分析[J].制冷与空调,2018,32(2):196-200.
- [9] 魏翠琴,王丽萍,贾少刚,等.太阳能热泵应用现状与性能分析[J].制冷与空调,2017,37(2):159-163.
- [10] 贾少刚,张五一,刘培陶,等.中央式冷热三联供太阳能热泵系统设计与运行模式分析[J].制冷与空调,2020,34(4):432-435.
- [11] 高志宏,贾少刚,魏翠琴,等.平板型太阳能热水装置性能实验研究[J].太阳能,2015,(11):59-62.
- [12] 魏翠琴,高志宏,贾少刚,等.太阳能热泵热水装置性能实验研究[J].机械设计与制造,2016,(7):265-268.
- [13] 孙冰冰,张晨阳,毛力,等.太阳能热泵系统的试验研究与分析[J].水电能源科学,2012,30(4):198-201.
- [14] 陈阳,张晨阳,张哲,等.太阳能热泵系统性能的试验研究[J].流体机械,2011,39(11):77-80.
- [15] 王凤印,周一凡,王翠萍,等.青岛热泵辅助太阳能供热系统的性能分析[J].煤气与热力,2010,30(10):17-20.
- [16] 杨义波,张燕侠,杨作梁,等.热力发电厂(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2010.
- [17] 邝平健,刘喜斌.燃煤热风炉解决北方温室供暖问题的研究[J].农机化研究,2007,(3):221-222.
- [18] 尹军,陈雷,白莉.城市污水再生及热能利用技术[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [19] 周志平,李念平.污水源热泵系统应用的节能减排分析[J].建筑节能,2012,40(6):46-49.

(上接第 865 页)

5 总结

(1) 空调系统的运维调试技术不仅与后期的系统调适相关,设计阶段、设备采购阶段、系统安装施工阶段同样重要;各个阶段环环相扣,每一个环节出问题都不能将系统的能效和功能发挥到极致。

(2) 温湿度独立控制系统需要监控的点位较常规系统多,控制逻辑、数据计算分析更复杂,设计阶段对监控点位的梳理、控制逻辑的细化、自动控制功能的明确对后期整个系统的顺利实施是必不可少的。

参考文献:

- [1] 刘阳.碳中和大背景下建筑节能材料的发展方向[J].中国建材,2021,(44):144-147.
- [2] GB/T51366-2019,碳排放计算标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [3] GB 50189-2015,公共建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [4] 魏庆芄.《民用建筑能耗标准》公共建筑运行能耗总量控制的主要规定[J].特别关注,2015,14(7):46-50.
- [5] 江亿,胡姗.中国建筑部门实现碳中和的路径[J].暖通空调,2021,51(5):1-13.
- [6] 龙惟定,梁浩.我国城市建筑碳达峰与碳中和路径探讨[J].暖通空调,2021,51(4):1-17.
- [7] GB/T 51350-2019,近零能耗建筑技术标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [8] GB 50736-2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.