

# 空气源相变储能复合热泵系统的运行分析

梁琦 王卓

(沈阳恒久安泰环保与节能科技有限公司, 辽宁 沈阳 110000)

**摘要** 空气能作为一种取之不尽、用之不竭的清洁能源,已广泛应用于供热装置中。空气源热泵作为一种将低能转化为高能,即将空气能转化为热能的节能装置,受到国内外学者的高度关注。负荷频率法通常用于比较托盘式空气热泵供暖系统与由不同辅助热源加热的复合系统的能耗和热源利用效率。人们发现,当温度非常低时,空气热泵很容易受到环境的影响。

**关键词** 空气源热泵 相变储能 储能除霜 经济性 环保性

中图分类号:TK02

文献标识码:A

文章编号:1007-0745(2022)05-0007-03

空气源热泵是使用环境空气制冷和取暖等外部热源的供热和制冷及低温热能转换中的热能高的电能来控制工作材料的热循环制冷的空气调节。空气源热泵广泛应用于办公楼、宾馆、工厂及各类住宅建筑。空气源热泵机组占建筑空调的45%以上。空气源热泵机组部分负荷为45%~70%,机组性能系数高;当部分负载小于45%或大于70%时,机组性能系数显著降低。因此必须对其进行调整,以致热泵装置满负荷或部分负荷与性能系数高,这有利于发挥绩效目标股的工作量热泵性能系数,实现热泵系统的改进。

## 1 空气源相变储能复合热泵系统的原理及其组成

空气源相变储能复合热泵系统的工作原理:系统运行时,通过一级热泵(空气源热泵)将低温循环工质温度提升至23℃左右;升温后的循环工质通过相变储能箱进行恒温调节,在此过程中将循环工质中多余的热量储存在相变储能箱中,为二级热泵提供20℃左右的热源;然后,二级热泵将循环工质温度提升至60℃以上,升温后的循环工质将热量传递给末端循环水,使循环水温度升高至60℃左右;最后,系统将60℃的高温循环水传递给用户末端供用户使用。

1. 一级热泵工作原理为制冷剂通过蒸发器从空气中吸收热量,形成低温低压的气体,低温低压的气态制冷剂进入压缩机压缩,形成高温高压气体,高温高压的气态制冷剂在冷凝器中放热,将热量传递给低温循环工质,冷凝后的高温高压液态制冷剂经过节流阀节流,形成低温低压的气液混合物,气液混合物再次进入蒸发器吸热,如此往复循环。

2. 相变储能箱的工作原理为从一级热泵冷凝器中吸热升温的低温循环工质,经过阀门进入相变储能箱中进行恒温调节。当进入相变储能箱的低温循环工质的温度低于23℃时,相变储能箱中的无机相变材料放热,低温循环工质吸热;当进入相变储能箱的低温循环工质的温度高于23℃时,低温循环工质放热,将多余的热量储存在相变储能箱中,为二级热泵提供恒定的热源。此外,在一级热泵除霜期间,相变储能箱为一级热泵提供低温热源,使系统实现高效除霜,保障了系统的稳定性<sup>[1]</sup>。

3. 二级热泵的工作原理为蒸发器中的制冷剂吸收低温循环工质的热量,形成低温低压的气体;低温低压的气态制冷剂进入压缩机压缩,形成高温高压气体,高温高压的气态制冷剂通过冷凝器放热,将热量传递给用户末端的循环水,使循环水温度升高至60℃左右,冷凝后的高温高压液态制冷剂经过节流阀节流,形成低温低压的气液混合物,气液混合物再次回到蒸发器中吸热,如此往复循环。

## 2 空气热泵的分类

### 2.1 双蒸发器型

双蒸发器型是目前最常见的双源热泵系统,蒸发器由两个介质换热器组合而成,复合热源分别为空气和浅层地能,工质可以通过两种不同形式的蒸发器,分别与两种热源的热媒进行独立的热交换。其工作原理为:将空气源热泵系统和水地源热泵系统进行结合,并共用系统的冷凝器、压缩机和蒸发器,将空气源与地源结合在一起,根据冬夏季不同工况切换两种热泵的使用模式。

双蒸发器型双源热泵的实际应用性需要进行测试分析,进一步分析其在各个地区的推广适用性。某学者测试了空气源辅热的双源热泵对土壤热不平衡率的影响,得出当空气源辅热采用“过渡季节补热、供暖季优先”运行策略时,可有效降低地源热泵取热量。某学者基于某绿色办公建筑,对比分析了土壤源热泵单独运行和双源热泵运行时供回水温度、换热量和性能系数以及能耗的差异。某学者测算出双源热泵全年EER(系统能效系数)为传统空气源热泵+燃气锅炉方案的两倍之多。以上案例均显现出通过不同的运行策略,双源热泵系统在不同地区的应用前景。

## 2.2 复合蒸发器型

复合蒸发器热泵系统用一个三介质换热器替代两个单独的换热器,既能实现单一热源换热,也可以实现空气和水两种非同态热源与制冷剂同步换热。复合热源热泵系统蒸发器的核心设备是三介质复合式换热器,复合热源大多为太阳能、浅层地能、废热和空气,其中制冷剂可以通过三介质复合式蒸发器,同步或交替与两种热源进行热交换。工作时,将地下埋管换热器中的热媒水送至空气-地源双热源复合换热器,同时开启复合换热器水侧的阀门和空气侧风机的开关,形成空气-地源双热源复合供热,通过进入的水提高热泵系统的制热量。

复合换热器型双源热泵系统的性能分析,可以从土壤热平衡性、系统COP、经济性等方面研究。某学者提出以土壤热平衡为基准,综合考虑土壤热不平衡和空气源热泵的运行特性,确定了复合换热器中两种热源最佳复合温度的方法,证明了空气-土壤源双热源热泵比单一的土壤源热泵系统运行更稳定且COP更高,能够实现整个系统的长期高效运行。某学者从系统COP的角度,得到该系统可解决低温环境下单一空气源热泵制热量不足、能效比显著下降的结论。但是,该测试仅从提升空气源热泵性能的角度分析,没有针对单一(水)源模式进行数据采集,无法综合得出系统优越性的结论。某学者的实验显示,蒸发器进风温度和进水温度的有效温差是空气-水双热源模式中制热的关键因素,但是并没有给出最佳有效温差控制范围。对此,某学者通过结合室外空气温度、室外空气流量、水侧温度和水侧流量,提供了不同条件下,计算复合供热模式有效温差的方法,确定了热源工作模式合理的工作温度范围。

对复合换热器型的双源热泵而言,仍存在需要解决和讨论的问题,如温差较大的两种热源混合引起的

熵产、结构复杂造价偏高、维护管理成本偏大等问题。复合式换热器的两种介质处于同一蒸发温度,在低温环境下,空气介质通道蒸发能力减弱,不仅无法吸收空气中的热量,甚至会恶化水介质通道的蒸发吸热,所以复合式换热器形式的双源热泵不适合严寒地区<sup>[2]</sup>。

## 3 生物质耦合发电技术

### 3.1 热泵系统热风风量的影响

热泵系统参数随热风风量的变化,在热风风量逐渐增加时,系统的制热量先增加后趋于稳定,压缩机的功耗在增加,这是因为风速较小时,在过热区还来不及蒸发的液态制冷剂进入两相区,由于两相区所占比例更大,在风速增大的过程中液态制冷剂在两相区域内得到完全蒸发换热,因此在风量刚开始增大时蒸发器侧的换热良好。在风速持续变大的过程中,过热区长度增大,同时两相区长度减小,这促使在过热区中大部分液态制冷剂被蒸发,虽然蒸发器侧的传热系数增大,但是换热量却基本维持不变。因此,系统的制热性能系数COP呈现先增加后减小的趋势,存在一个最大值。增大热风风量时压缩机的功耗增大,不利于系统的稳定运行,但系统的制热量先增加较快,后基本保持不变,综合考虑系统的制热量和压缩机功耗以及COP,得出热风风量控制在5000m<sup>3</sup>/h以内时系统的各项参数较佳,而不是越大越好,较大的风速也会使风机发出的噪声更大。系统的排气温度和热风风量呈正相关,偏差基本保持在10%以内。

### 3.2 多源耦合热泵循环

空气源热泵空调在严寒地区的应用受到限制,存在低温适应性差和负荷匹配性问题,而与其他可再生能源热泵相结合,采用多源耦合的热泵可弥补单一空气源热泵空调的不足,获得高效复合热泵系统。太阳能热泵系统利用太阳能为蒸发器提供热源,只能在白天间歇性工作,空气源-太阳能复合热泵可持续供热,实现高效运行。采用双套管蒸发器,太阳能热水流经内管,制冷剂在内外管之间的环形通道流动,外管则从空气中吸收热量,实现太阳能、空气热能与制冷剂同时换热,该系统的热效率高于传统太阳能热泵系统。新型的太阳能辅助空气源复合热泵,在室外温度为-7℃时,复合热泵较单一空气源热泵空调制热量提高约24%,能效提高25%以上。地源热泵将地下浅层土壤的热能作为热源,是一种高效、节能的热泵系统,但长期不间断运行会导致土壤出现取排热失衡等问题,空气源-地源复合热泵可减小埋管面积,降低成本。将传统的

翅片管式换热器与套管式换热器相结合,作为空气-地源双热源热泵系统的复合换热器,实现了不同热源在同一换热器中与制冷剂同时进行换热。

### 3.3 生物质锅炉与空气源热泵联合供暖

我国的资源储备十分丰富,尤其生物质能源数量很大,有很高的利用潜能。我国目前生物质资源可转换为能源的潜力约5亿t标准煤<sup>[9]</sup>,今后随着造林面积的扩大和经济社会的发展,生物质资源转换为能源的潜力可达10亿t标准煤。目前,使用生物质能源的方法有以下几点:(1)通过生物质进行发电。2020年通过生物质的发电量为510亿kW时,利用生物质发电已经很普遍了。(2)生物质成型燃料。我国2020年使用生物质成型燃料的总量约为5000万t,这些燃料大多使用在城镇采暖或者工业上的供热等方面。(3)生物质气体。2020年,我国的沼气年产量约为190亿m<sup>3</sup>,大部分都用于各个家庭,约4000万户。美国、丹麦、挪威的生物质能源的利用情况都非常好,在这三个国家,将生物质作为能源占总能源的比例分别是5%、17%、15%。在美国市场上,有一些使用生物质颗粒作为燃料的取暖炉,已经在很多家庭使用起来。与其他国家相比,欧盟在生物质能源方面的科技水平非常高,发展得也很快,现在已经十分完善了。欧洲在采暖方面,利用生物质能源的采暖量大概为总采暖量的12%。锅炉热损失最大的是排烟热损失,所以如果可以尽可能地回收烟气的热量,便可以很大程度上提高锅炉的制热效率。而空气源热泵在低温环境下的制热效率不高,且容易结霜,使设备寿命缩短,两种供暖方式都有缺点,可以将锅炉的排烟热量利用起来给空气源热泵进行预热,不仅回收了锅炉的排烟热损失,又能防止蒸发器结霜,还可以提高整体系统的供暖效率,从而使两种供暖方式的缺点互补。

## 4 蓄热运行策略优化

### 4.1 相变蓄能模块性能分析

选取晴天工况下进行整机模拟运行,在15:00-18:00共3h系统不间断运行向相变蓄能换热器提供热量,通过实验数据得出,从15:00开始相变材料内部温度呈逐步上升趋势,直至15:45接近相变温度点23℃,这一阶段是相变材料的蓄热过程,且蓄热速度大于取热速度,内部相变材料进行显热蓄能;15:45-17:10之间相变材料内部温度一直维持在约23℃,此时相变材料温度已达到其相变点,热量开始转化为潜热存储在相变蓄能换热器中;17:10后相变材料的温度又开始呈

上升趋势,这一阶段表示相变潜热蓄能已接近饱和状态,且蓄热速度仍然大于取热速度,又开始显热蓄能,直到18:00相变蓄能换热器容量储存结束。此后相变蓄能换热器主要起到调节中间温度的作用,使二级热泵始终在高效区稳定工作,并在极端工况下释放热量,能满足用户至少2h需热量。

### 4.2 系统在阴雨雪工况下制热量与耗热量

选取阴雨雪天气工况进行测试,平均温度仅为-7℃,最低温度达到-10℃,最高温度仅为-3℃,且温度波动较大,最大温差达到10℃。同时室外的相对湿度也相对较高,全天中约有20h的空气相对湿度超过65%,空气源热泵室外机易结霜,对于空气源热泵的运行会产生较大影响。

## 5 结语

本系统主要针对空气源复叠式相变蓄能热泵供暖系统进行试验测试,试验表明:

1. 系统在晴天工况下运行时,在满足室内20℃供暖要求时,能在供暖负荷较低的情况下将空气能进行相变蓄能储存;系统的瞬时COP值始终处于较高的水平。

2. 系统在阴雨雪天气工况运行时,相较于晴天时COP值有大幅下降,但相对于传统的供暖方式,此系统具有波动幅度小、供暖舒适性优越且经济节能环保的优势。

3. 综合在两个典型工况下系统的运行状况可知,系统运行制热量大于耗热量,且在更低的蒸发温度情况下具有良好的除霜性能,有效解决了传统空气源热泵频繁除霜的低效性。

## 参考文献:

- [1] 曹颖. 信息化背景下谈低温空气源热泵的现状与发展[J]. 科学与信息化, 2017(14):71-72.
- [2] 金磊, 何永宁, 杨东方, 等. CO<sub>2</sub>热泵在低温寒冷地区供暖应用的研究分析[J]. 流体机械, 2015, 43(09):67-72.
- [3] 杨永安, 李瑞申, 李坤, 等. 采用R410A单一工质的复叠式空气源热泵[J]. 化工学报, 2020, 71(04):1812-1821.