

空气源热泵供暖系统能效分析及系统配置探讨

郭璇, 支娜娜

(山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250101)

摘要 我国的暖通行业发展迅速, 传统供暖方式带来的能源消耗和环境污染问题日益凸显。目前比较成熟的分户热泵供暖系统的热源一般采用分户空气源热泵, 通过制冷剂管路将热量输送至空调室内机, 或通过制冷剂管路将热量输送至换热器, 通过换热器加热室内供暖水系统, 室内末端一般采用地热泵管或空调室内机。新的末端供暖技术对集中供热热源温度要求的降低, 使得空气源热泵等供暖系统得以大量推广应用。本文就空气源热泵供暖系统能效及系统配置工作进行研究, 以供同行业人员参考。

关键词 供暖季; 综合能效比; 多能互补; 空气源热泵; 清洁供暖

中图分类号: TU83

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)05-0013-03

空气源热泵作为可再生能源的一种, 以其绿色环保、性能稳定、经济实惠、运维便利等优点, 迅速成为北方地区清洁供暖的主要技术路径之一, 且有着巨大的发展潜力。随着自上而下的建筑节能强力有序地推进, 大量低能耗、超低能耗建筑不断涌现, 低温辐射供暖系统以其良好的舒适性、安全性逐渐代替了传统的对流辐射供暖系统。

1 空气源热泵运行原理

根据逆卡诺循环原理, 制冷剂通过蒸发器时吸收空气中的热量, 经压缩机后形成高温高压介质, 进入冷凝器进行放热, 将热量传给冷水, 再经节流装置变成低温低压的介质进行下一次循环。冷水经过冷凝器与高温高压的介质交换后变成热水贮存在热水罐或热水箱中, 通过热水管道送至用水点。因此, 空气源热泵热水系统是一种安全、节能、低污染且符合绿色发展的技术。核心原理是利用制冷循环从室外空气中吸收热量, 然后传递至室内。系统组成主要包括蒸发器、压缩机、冷凝器、膨胀阀等关键组件, 其中室外空气通过蒸发器使工质蒸发吸收热量, 压缩机将蒸发后的工质压缩并提高其温度, 温度通过冷凝器散发到室内, 供暖或热水使用。在严寒地区, 蒸发器和冷凝器的工作受到极端低温的影响, 可能导致系统性能下降。

2 系统配置要点

在合适的环境温度下, 空气源热泵供暖相对于其他常见的供暖方式经济性无疑是比较好的, 所以在市政供热能力不足、周边没有集中热网配套的新建小区, 以及一些偏远的学校、办公楼、工厂、酒店、医院等

建筑中越来越多地采用空气源热泵配套供暖。不少新兴清洁能源公司限于资源或技术问题, 往往采用单一的空气源热泵进行供暖, 如果对于仅白天有供暖需求的办公楼、学校等建筑倒也勉强可行, 但是对于住宅、医院等需 24 h 连续供暖的项目, 会有诸多的不利: (1) 设计选型容量偏大, 导致初投资增大; (2) 部分负荷运行时间较长, 大量设备长时间闲置, 设备故障率高; (3) 极端天气下供暖效果不好; (4) 设备低效工作区运行时间长, 供暖季综合节能效率低。所以, 采用空气源热泵集中供暖的系统, 宜配置部分燃气锅炉供热、电加热, 甚至市政集中热源等相对稳定的能源形式, 实现多能互补, 以提高整体的运行效率, 保障供热品质, 降低初投资。那么, 如果采用其他的能源形式做补充, 应该补充多少是个值得研究的问题。以青岛地区的气温变化作为研究依据, 分析供暖负荷及空气源热泵机组在不同环境温度下的变化特点。(1) 如果分别以 $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度下的供暖负荷进行系统配置, 则 $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 额定工况下的机组制热能力相对于供暖负荷分别为 158%、114%、85%、72%; (2) 以 $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的供暖负荷配置空气源热泵机组, 机组容量配置过大, 初投资较高, 而同等负荷下的燃气锅炉或电加热等常规热源方式投资则低得多(经验表明, 空气源热泵初投资可按额定供热量 1.2 元/W 考虑, 燃气锅炉的投资额可按 0.2 元/W 考虑), 以 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境温度下的供暖负荷配置空气源热泵机组, 分别需要补充 28%、47%、55% 满负荷的其他能源形式; (3) 建议对供暖品质要求高、24 h 连续供暖的场合(如高档住宅、医院等), 补充 47% 满负荷的其他能源形式, 对供暖品

质要求不太高的场合,补充28%满负荷的其他能源形式。结合各地气候特点及资源禀赋的多能互补配置方案,以及结合各能源形式自身运行特点的控制策略,一方面可以最大程度上节约运行费用及初投资;另一方面也能保障供暖效果。结合各地气候特点及资源禀赋的多能互补配置方案,以及结合各能源形式自身运行特点的控制策略,一方面可以最大程度上节约运行费用及初投资;另一方面也能保障供暖效果^[1]。

3 设备机组架设

严寒地区的寒冷气候,设备支撑结构必须能够承受雪荷载和低温,防止设备受损。保证支架的材料质量和结构设计符合要求,能够承受设备的重量和外部压力。同时,预留足够维护空间可方便后续设备检修和维护,提高设备的可维护性和使用寿命。根据GB50736-2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中的规定,空气源热泵的安装位置应符合以下规定:在室外机安装过程中,必须充分考虑设备的通风需求。确保排风和进风通畅,以避免发生气流短路现象。热泵机组应尽量放置在不遮挡、无障碍物的地方,安装位置必须通风良好。出风口通常避免迎风方向,因此应考虑安装在空旷位置处,并为换热器的清扫预留足够空间。为避免受到污浊空气的影响,不可将设备放置在厨房油烟排气的地方。此外,在安装过程中,所使用的所有金属部件均应进行防锈处理,并符合中国现行国家标准GB/T7725-2022的相关规定^[2]。同时,需考虑噪声和排热对周围环境的影响,安装位置应尽量选择在人员较少且不易受噪声影响的地方。在安装过程中,需要注意现场的实际情况,确保所选择的安装位置能够承受室外机自重的2~3倍的重量。系统供回水管路应与机组进出口采用柔性连接的方式,以增强设备的稳定性和耐用性。设备机组与基础值间加装隔振措施,防止机组振动传播至建筑本体,影响建筑室内环境。

另外,室外机组本体应安装安全接地线,确保用电安全。同时,机组使用侧进水端应加装Y型过滤器,以防止杂质污染损坏设备^[3]。

4 定期维护

(1)对于空气源热泵及配套管路日常维护,应定期巡视空气源热泵机组、配套冷热水循环泵及管道保温情况;定期检查设备及其管路上阀门等附属设备是否正常工作,并及时清洗空调循环水过滤器、换热设

备及风管系统,保持良好的运行性能^[4]; (2)在冬季防冻方面,补水管中的冷水需实时加热,避免上冻无法流动;配套循环泵在冬季运行时,一旦出现停电、缺相或热继电器动作保护导致循环泵停运,时间长了可能冻坏设备和管线,因此需采取事前预防措施或事后应急措施,降低循环泵的受冻损失; (3)做好预防风霜雨雪的工作同样重要。设备和电线电缆接触水后,设备绝缘性能降低,容易出现发热情况,应采取预防雨水的措施,避免设备、电线电缆等接触雨水;定期巡视设备机组、配电柜、控制系统的防水措施的完好性,若有损坏,应及时修复^[5]。

5 运行24 h耗电量

变频化控制下,通过能需计算的控制,在出水温度逐渐逼近设定温度时,压缩机频率逐步降低,收敛。定频化控制下,在出水温度逐渐逼近设定温度时,压缩机频率不变,直到达温停机,其功率曲线类似于定频机。根据测试结果,在-12℃的环境温度下,设定水温45℃(回水温度),在优化后的控制逻辑,机组24 h的耗电量降低。结合机组单点能效的测试情况,可以分析得知,由于根据能需的计算,在水温逼近设定温度时,频率会降低,则机组运行频率降低到低效区,甚至降到50 Hz以下,机组自动关闭喷焓,能效急剧下降。采用定频化的控制,机组一直运行在高效区,进而耗电量反而降低。

6 地热能梯级利用系统运行性能分析

目前中深层地热供暖由起初的只利用地热能加换热器的供暖方式,发展为地热能梯级利用的供暖方式,使地热水的利用温差提高30%~50%,提升了供热系统的综合能效。天津某项目采用地热水梯级利用供暖,分为四级换热,一、二级换热采用板式换热器,三四级换热采用地源热泵。在热源侧,由取水井抽取85℃左右地热水,经过板式换热器一级换热,降低至60℃左右;再经过二级换热降低至45℃左右,最后经过三、四级的地源热泵降低至30℃,由回灌井回灌地下以保证地下水位。末端用户为八个小区的住宅,用户侧末端采用散热器,设计供回水温度为60℃~45℃。用户侧循环水分别进入四级换热系统,其中45℃回水经过一、二级板式换热器换热后升至60℃左右,45℃回水经过三、四级地源热泵后升至55℃左右,然后混合后进入主管分别供至各个小区。通过测试及对历史数据分析,其制热季节性能系数HSPF为9.09,与电直

接加热设备相比,节能率约为 90%,即在不考虑电力排放因子变化的情况下,碳排放减少 90%。与空气源热泵相比,节能率约为 65%,即在不考虑电力排放因子变化的情况下,碳排放减少 65%。与地源热泵系统相比,节能率约为 37%,即在不考虑电力排放因子变化的情况下,碳排放减少 37%^[6]。

7 综合评价分析

空气源热泵系统、地源热泵系统及地热能梯级利用系统是目前在长江以北地区较为普及的以电能驱动的清洁采暖系统,从以上介绍及分析来看,其存在以下特点:(1)运行能效方面,地热能梯级利用系统最高,地源热泵系统次之,空气源热泵系统最低;(2)投资建设方面,地热能梯级利用系统和地源热泵系统远高于空气源热泵系统;(3)规模适用性方面,空气源热泵系统的适用范围更广,地热能梯级利用系统和地源热泵系统不适用于建筑体量较小且建筑规模较小的区域;(4)地域适用性方面,地源热泵系统源热泵系统由于不受环境温度的影响,其适用范围更广,而地热能梯级利用系统只适用于中深层地热能丰富的地区,空气源热泵系统不适用于室外气温比较低的地区^[7]。

8 性能系数预测

根据现场测试期间室外逐时平均温度与逐时能效比数据,机组性能系数预测时,只分析了室外温度与机组性能系数的关系,未考虑室外空气相对湿度等其它因素的影响。相关关系式可用于估算或简便分析使用,准确性及适用性等还有待于进一步提升^[8]。

9 合理调整运行参数

在冬季,由于环境温度较低,空气源热泵热水系统的运行需要进行适当的调整。为了提高空气源热泵热水系统的能效和稳定性,可以采取一些有效措施。比如,适当降低热水的温度可以减少热泵的负荷,提高其能效。在冬季,由于环境温度较低,热泵的负荷本身就比其他季节大,因此降低热水温度可以减轻热泵的负担,使其更加高效地运行;空气源热泵热水系统的各个部件可能会受到一定的影响,减小出水的流量可以减少对系统部件的冲击,提高系统的稳定性。冬季是空气源热泵热水系统运行的关键时期,适当的调整和保养是保证其正常运行和高效率的关键。应适当采取一些措施来优化空气源热泵热水系统的运行参数,并注意天气状况和热水需求等因素,以确保空气源热泵热水系统能够正常运行并达到最佳的运行效果。

10 使用感受及运维对比

分户空气源热泵供暖系统能够用手机智能控制,可满足过渡季的热需求,空调热风与地暖制热同时开启可满足迅速调温的需求,户间影响小;不需专门的物业运维,可由厂家提供售后服务,但集中供暖系统调温慢,无法满足过渡季热需求,需专业的物业运维人员进行每年的检修。

11 结束语

空气源热泵供暖系统在“双碳”“减霾”的大环境下,因为其便利性、可控性、经济性、安全性等特点,是目前主流的清洁供暖技术之一,随着建筑节能技术的提高及供暖热源温度的逐步降低,有着更加广阔的发展空间。空气源热泵供暖系统的能效评价以整个供暖季为时间跨度,结合环境温度的变化及供暖负荷的分布特点进行综合评价,会更客观、更贴近运行实际特点,更具参考价值。采用多能互补的空气源热泵供暖系统,补充能源的配比根据项目具体特点及环境条件宜为 30%~50%,供暖效果的保障与初投资及运行费用的节约会达到比较理想的结合点。随着以供暖为主要任务的空气源热泵系统应用的项目体量越来越大,辐射半径越来越长,常规的 5℃温差机型输配能耗较大,开发 10℃温差的空气源热泵机组甚为必要。

参考文献:

- [1] 陈梦源,高彩凤,张晓东,等.超低能耗建筑现浇混凝土内保温体系外墙层间挑板热桥研究[J].建筑科学,2023,39(04):174-182.
- [2] 石岩,胡恩硕,甄勃.空气源热泵在东北严寒地区运行特性分析[J].吉林建筑大学学报,2020,37(06):33-38.
- [3] 荣雨诗,胡恩硕,石岩,等.空气源热泵在东北地区实测与优化方案研究[J].能源与节能,2022(08):20-25.
- [4] 熊帝战,杨玲,范钟引,等.不同气候特征下空气源热泵高效应用策略探讨[J].暖通空调,2023,53(11):714.
- [5] 王彦超,蒋春来,贺晋瑜,等.京津冀大气污染传输通道城市燃煤大气污染减排潜力[J].中国环境科学,2018,38(07):2401-2405.
- [6] 高鹏程,王昭俊,刘畅,等.严寒地区被动房热泵空调机组冬季性能测试与分析[J].暖通空调,2023,53(06):69,120-123.
- [7] 洪博文,MIKETAAsami,GIELENDolf,等.基于可再生能源的全球电气化路径与远景分析[J].中国电力,2020,53(03):159-166.
- [8] 蒙悟.高原地区太阳能热水系统引入空气源热泵辅助加热和管路系统保护的探讨[J].甘肃科技,2017,33(09):67-68,71.