

空气源热泵结合辐射地暖在暖通空调系统中的节能优化策略

狄啸

上海中森建筑与工程设计顾问有限公司，上海市，200062；

摘要：建筑领域碳排放控制目标的推进，促使暖通空调系统能效提升成为重要技术攻关方向。空气源热泵与辐射地暖的结合应用虽展现出节能潜力，但在实际系统工程中仍面临能效未达预期的现实困境。热泵机组在低温工况下制热效率衰减与地暖系统热惰性特征之间的匹配失调，导致部分项目出现供热稳定性与运行经济性双重受损的问题。这种技术协同效应的不足，凸显出现有系统集成方案在能量传递链设计上的优化空间。

关键词：空气源热泵；辐射地暖；暖通；空调系统

DOI：10.69979/3029-2727.25.04.045

引言

低碳建筑发展趋势下，热泵与辐射末端的协同运行效能直接影响暖通系统能效水平。在实际工程案例中，系统集成方案往往忽视设备间能量传递的动态特性，造成部分节能潜力未被充分释放。热泵机组高频启停导致的功耗激增、地暖末端调温滞后引发的过供现象，已成为制约系统能效的典型痛点。揭示能量传递链的损耗机理并建立相应优化策略，成为提升复合系统节能效益的关键突破口。

1 空气源热泵结合辐射地暖的特点

1.1 高效节能，降低运行成本

空气源热泵作为一种供热设备有高效节能的特性，它凭借消耗少量的电能，从空气中汲取大量低品位热能，把这些热能转变为高品位热能，以此为辐射地暖提供热源，相较于传统供暖方式而言，空气源热泵的能效比较高，可凭借较少的能源消耗产出较多的热量，举例来说，在一些实际项目当中，空气源热泵地暖与电采暖相比可实现节能 75%，和燃气或者燃煤采暖相比能节能 30% 至 50%。辐射地暖是凭借低温热水在地板下方的管道里循环流动，以辐射以及对流的方式向室内释放热量。由于其供水温度较低（一般不高于 60℃，通常在 35—50℃），与常规暖气片所需的较高供水温度相比，热泵的制热效率更高，进一步降低了能源消耗。同时，辐射地暖的热稳定性好，在间歇供暖时，室温变化幅度较小，减少了因频繁启停设备而造成的能源浪费，从而有效降低了整个供暖系统的运行成

本^[1]。

1.2 舒适健康，营造宜人环境

辐射地暖是将整个地面当作散热面，热量会从下往上均匀地进行传递，其符合人体的生理特征，能给人带来一种“足暖头凉”的舒适感受，这种供暖方式不存在传统空调供暖时出现的热风感以及噪音问题，也不会让室内空气变得过于干燥，有利于维持室内空气的湿度以及清洁程度，可减少因空气干燥而引发的呼吸道不适和皮肤干燥等状况。空气源热泵在运行期间，不会产生燃烧废气以及烟尘，不存在有害气体和固体污染物的排放，对室内外环境均无污染，这种清洁的供暖方式为用户营造了一个健康且舒适的居住环境，特别适合有老人、儿童以及呼吸道疾病患者的家庭^[2]。

1.3 安装灵活，适应多种场景

空气源热泵主机所占据的地面面积较小，可安装在室外空旷之地、屋顶或者特定的设备区域，不会占用室内空间，对于城市中每一寸土地都十分珍贵的住宅而言，有着较大的优势，而且空气源热泵对于安装环境的要求相对没那么高，当前的技术已然突破了低温条件的制约，可在温度处于零下三十五摄氏度以上的地区稳定运行，即便在东北、西北等高寒地区也可正常使用，这在很大程度上拓展了其应用的范围。辐射地暖的安装同样较为灵活，它可在新建建筑当中与装修同步开展，把管道预先埋设到地板下方，不会占用使用面积，并且还可搭配不同的装潢风格，对于旧建筑改造项目，辐射地暖也存在一定的适应性，比

如毛细管供暖系统，其供暖层、蓄热层以及辐射面都很薄，适用于新建筑，还可在旧建筑的基础上进行安装，为旧房改造提供了全新的供暖解决办法^[3]。

2 空气源热泵与辐射地暖的协同优化机制

空气源热泵跟辐射地暖的协同优化乃是达成系统节能的关键所在，空气源热泵依据逆卡诺循环原理，把空气中品位较低的热能提升成为品位较高的热能，它的性能会受到室外环境温度、湿度等诸多因素的影响，辐射地暖是借助低温热水在地板下方的管道里循环流动，以辐射以及对流的方式朝着室内散热，它的散热效果跟供水温度、流速以及地板的材质与结构等因素紧密相关。要想达成两者的协同优化，就得构建热泵与地暖之间的热力学模型，剖析热负荷特性，明确优化目标，比如说，依据室内外环境参数以及建筑围护结构的热工性能，精准计算热负荷需求，合理搭配空气源热泵的制热量与辐射地暖的散热量，运用先进的控制策略，像模糊控制、神经网络控制等，达成空气源热泵与辐射地暖的智能联动，依据室内温度变化实时调节热泵的运行参数以及地暖的供水温度，保证系统在契合室内舒适度的条件下，实现能源的高效利用^[4]。

3 空气源热泵结合辐射地暖在暖通空调系统中的节能优化策略

3.1 设备选型与匹配优化

设备选型以及匹配对于空气源热泵结合辐射地暖系统的节能效果而言是关键影响因素，针对空气源热泵进行选型时，需依据当地气候状况、建筑规模以及热负荷需求等诸多因素来做出合理抉择，比如在寒冷地区，要挑选有低温制热性能的空气源热泵机组，该机组可以在较低环境温度下实现稳定运行，保障制热效率。还要考量热泵机组的能效比，去选择 COP 值较高的产品，以此提升能源利用效率，至于辐射地暖系统，应按照建筑的功能以及使用要求，合理选定地暖管的材质、规格以及间距，当下常用的地暖管材质包含 PE-RT、PE-X 等，不同材质有着各异的耐热性能以及使用寿命，地暖管的规格和间距会直接对地暖的散热效果以及系统的水阻力产生影响。一般地暖管的间距应当依据供水温度以及房间的热负荷给予设计，对于热负荷较大的房间，要适当缩小地暖管的间距，提高散热效果^[5]。

3.2 系统控制策略优化

先进系统控制策略对空气源热泵结合辐射地暖系统实现节能运行起着关键作用，传统控制方式多采用简单温度控制，也就是室内温度低于设定值时热泵启动运行，室内温度达到设定值时热泵停止运行，此控制方式虽简便，却不能依据室内外环境参数变化实时调整热泵运行参数，造成能源浪费。要提升系统节能效果，可采用智能控制策略，像基于模糊控制的系统控制策略，能依据室内温度、室外温度、湿度等多个参数，借助模糊推理确定热泵运行状态与供水温度，室内温度接近设定值时，模糊控制系统会渐渐降低热泵制热量，防止热泵频繁启停，提高系统稳定性与节能效果。神经网络控制策略依靠对大量历史数据学习分析，建立热泵运行参数与室内外环境参数间的非线性映射关系，实际运行中，神经网络控制系统能根据当下室内外环境参数，实时预测热泵最佳运行参数并自动调整热泵运行状态，达成系统最优控制，另外还可以采用分时分区控制策略，按照建筑不同区域使用时间和热负荷需求，把建筑划分成若干分区，各分区独立控制。比如办公建筑，工作时间对办公区域供暖，非工作时间办公区域低温运行或停止供暖，同时对公共区域适当供暖以契合人员活动需求，这种分时分区控制策略可有效降低系统能耗^[6]。

3.3 运行参数优化

空气源热泵联合辐射地暖系统作为一种节能环保的供暖方式，其运行参数的科学优化对于提升系统整体能效起着决定性作用，对于空气源热泵来说，供水温度是影响系统性能的关键因素，它与热泵的制热系数呈现反比关系，即供水温度每降低 1℃，热泵的 COP 值大约提升 2% 至 3%。然而供水温度的设定要综合考量室内热舒适需求与设备能效之间的平衡点，实践证明，在我国北方地区冬季采暖期间，当室外温度高于 0℃ 时，热泵供水温度可控制在 35℃ 至 40℃ 范围内，当室外温度降至 -5℃ 至 0℃ 区间时，供水温度适宜调整至 40℃ 至 45℃，而当室外温度低于 -10℃ 时，供水温度则需要提升至 45℃ 至 50℃，以此契合建筑物的热负荷需求。另外压缩机变频技术的应用为热泵系统赋予了精细化调节能力，凭借实时监测室内温度与设定值的偏差，智能控制系统可自动调整压缩机运行频率，研究数据说明，相较于定频系统，变频技术在部分负荷工

况下可实现 15% 至 30% 的能耗降低,对于辐射地暖系统而言,管路布局、埋设深度、盘管间距等静态参数虽然在系统安装时就已确定,但供水温度、水流速度以及循环泵功率等动态参数依旧可以借助智能控制系统进行优化调节。地暖系统的水力平衡十分关键,借助在分水器上安装电动调节阀并配合室温传感器,可实现各房间温度的独立控制,避免能源浪费,地暖系统有较大的热惯性,对温度变化的响应相对迟缓,在控制策略上应采用预测性调控方法,依据天气预报和历史运行数据,提前调整系统运行参数,比如在预计气温明显下降前,可提前 6 至 8 小时逐步提高供水温度,防止室温骤降^[7]。

3.4 维护管理优化

空气源热泵搭配辐射地暖系统作为一种现代化的节能采暖装置,其维护管理的科学性和系统性对整体运行效能以及使用寿命有着直接的影响,就空气源热泵机组来讲,室外换热器作为核心部件,很容易因为环境因素的作用而出现性能下降的情况,有研究显示,换热器表面积尘厚度每增加 0.5mm,换热效率大概会降低 10% 至 15%,使得能耗增加。要依据安装环境的特点制定不一样的清洁维护计划,在多尘的环境中起码每季度清洗一回,在雨季和落叶季节过后更要及时清理,运用专用清洗剂并配合低压水流或者压缩空气来进行清洗,保证散热翅片没有积尘阻塞,制冷剂系统的检测同样对机组效能有影响,凭借专业压力测试仪监测高低压管路的压差,结合蒸发器与冷凝器的温差分析,可准确判断制冷剂的充注量是否合适。实践说明,制冷剂不足或者过量都会致使压缩机效率降低,甚至引发系统故障,要定期进行泄漏检测以及制冷剂补充,而对于辐射地暖系统来说,水质管理特别关键,因为地暖系统长时间处于闭式循环运行状态,水中的钙镁离子、悬浮物以及微生物容易造成管道结垢、腐蚀与堵塞,研究数据说明,管内结垢厚度每增加 1mm,热传导效率大约会降低 30%,并且还增加了水泵负荷以及能耗。应该在系统初次安装的时候以及每一个采暖季开始之前,对循环水进行全面的水质检测与处理,加入适量的阻垢剂、缓蚀剂与杀菌剂,把水硬度控制在 150mg/L 以下, pH 值维持在 7.0 至 8.5 的范围内,保持水质清洁稳定,另外地暖分水器作为系统的关键节点,其调节阀门与流量计等部件容易出现机械磨损,

应该每季度检查阀门的启闭灵活度与密封性,并且借助红外热成像技术对地暖管网进行全面检测,保证各回路温度分布均匀,防止热量分配不均引发局部过热或者供热不足的问题^[8]。

4 结束语

空气源热泵结合辐射地暖在暖通空调系统中的应用,展现出显著的节能潜力。通过合理优化系统设计、精准控制运行参数、充分利用热泵优势以及加强设备维护管理等一系列节能优化策略,能有效降低能耗、提高能源利用效率。这不仅有助于减少能源浪费,降低使用成本,还对推动绿色建筑发展和实现节能减排目标具有重要意义,值得进一步推广与应用。

参考文献

- [1] 牛建会,王海超,吕天舒,等. 空气源热泵直接地板辐射供暖升温过程实验研究[J]. 河北水利电力学院学报,2024,34(03):61-67.
- [2] 牛建会,王海超,吕天舒,等. 空气源热泵毛细管地板辐射供暖系统实验研究[J]. 制冷学报,2025,46(01):46-52+166.
- [3] 孙志利,任彤,刘起友,等. 和田地区空气源热泵地暖辐射采暖系统实验[J]. 制冷学报,2023,44(03):67-73.
- [4] 姚丹. 住宅空气源热泵地暖系统的能效分析模型研究[J]. 科学技术创新,2022,(27):1-4.
- [5] 崔明明,马国远,曹瑞林,等. 空气源热泵直接地板辐射采暖实验研究[J]. 家电科技,2022,(04):96-100.
- [6] 李帅帅,李刚,张俊永,等. 基于相变蓄能的辐射式高效空气源热泵系统研究[J]. 制冷技术,2022,42(02):32-38.
- [7] 乔桂楠,王宇,李艳菊,等. 基于空气源热泵与新型通水地板的辐射供暖系统应用分析[J]. 流体机械,2022,50(03):88-95.
- [8] 宁赛,王启民,李万卓. 空气源热泵辐射供暖系统围护结构的蓄热研究[J]. 能源与节能,2022,(01):34-37.

作者简介: 狄啸,男(1988.12—),汉族,湖北十堰人,学士,工程师,研究方向: 暖通空调。