 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.10000

Thinking on Engineering Application Countermeasures of Air Source Heat Pump Heating in Cold Regions

Ruiming Zhang

Urumqi Thermal Power Group Co., Ltd., Second Heating Supply Company, Urumqi, Xinjiang Uygur, 830000, China

Abstract

Air-source heat pumps face practical challenges when deployed for heating systems in cold regions. Key issues include reduced heating efficiency in low-temperature environments, operational stability compromised by frosting and defrosting cycles, difficulties in equipment selection matching building loads, and relatively high initial investment costs. Based on climatic characteristics and heating demands of cold regions, this study proposes engineering solutions through equipment technology upgrades, system optimization design, load calculation methodologies, and auxiliary heat source configurations. Key recommendations include adopting jet-injection compressors, optimizing defrost control strategies, conducting specialized load analysis and equipment selection evaluations, and strategically configuring auxiliary heat sources. Research demonstrates that systematic technical selection and design optimization enable air-source heat pumps to deliver stable, efficient, and cost-effective heating performance in cold climates, providing a viable approach for clean energy heating projects.

Keywords

cold regions; air-source heat pump; heating engineering; defrosting control; auxiliary heat source

寒冷地区空气源热泵供暖的工程应用对策思考

张瑞明

乌鲁木齐热力集团有限公司第二供热供公司，中国 · 新疆维 乌鲁木齐 830000

摘　要

空气源热泵用于寒冷地区供暖工程时，存在一些实际问题。比如在低温环境中，制热效率会衰减，结霜化霜现象会使运行稳定性降低，设备选型和建筑负荷匹配存在困难，而且初期投资比较高。本文依据寒冷地区气候特性、建筑供暖需求，从设备技术改进、系统优化设计、负荷核算方法、辅助热源配置等方面着手，给出了选用喷气增焓压缩机、优化融霜控制策略、进行负荷核算与设备选型专项论证、合理配置辅助热源等工程应用对策。研究显示，经过系统性的技术选择与设计优化，空气源热泵在寒冷地区能够达成稳定、高效、经济的供暖效果，可为清洁能源供暖工程的实施提供可行途径。

关键词

寒冷地区；空气源热泵；供暖工程；融霜控制；辅助热源

1 引言

我国北方地区在清洁供暖政策的推动下不断向前发展，空气源热泵作为一种具备高效与环保特性的供暖方式，于寒冷地区的使用越来越普遍。然而寒冷地区冬季气温较低且持续时间较长，空气湿度变化比较复杂，这些外在情形对空气源热泵的制热性能、运行稳定性、系统经济性提出了更高的要求。在实际工程当中，不少项目存在诸如低温制热能力不足、机组频繁化霜从而导致供热出现波动、设备选型与建筑实际负荷不相匹配、初期投资偏高此类问题，对空气源热泵在寒冷地区的推广成效产生了影响。故而有必要从工程应用方面出发，全面剖析空气源热泵在寒冷地区所面临的主要技术难题，并给出可行的应对措施，为工程设计、设备选型、运行管理提供参考。

【作者简介】张瑞明（1985—），男，中国陕西西安人，本科，工程师，从事区域供热研究。

2 寒冷地区空气源热泵供暖的工程应用主要难点

2.1 低温环境下制热效率衰减明显

空气源热泵的制热性能主要依靠从室外空气中获取热量，一旦室外温度降低到零下十摄氏度以下，空气中能够提取的显热和潜热总量就会急剧减少，压缩机吸气比容增大，压缩比升高，造成单位质量制冷剂的制热能力显著降低。低温工况时压缩机的容积效率和指示效率都呈下降趋势，系统实际运行能效比远低于名义工况下的标称数值，部分机组在极端低温状况下甚至无法正常启动或者维持稳定运行 [1]。这种制热能力的衰减并不是呈线性变化的，在临界温度附近常常会出现性能突然下降的情况，致使空气源热泵在寒冷地区

供暖季中长期处于低能效运行状态，难以满足建筑持续稳定的供暖需求。

2.2 结霜化霜导致运行稳定性下降

冬季运行时，空气源热泵的室外换热器里，要是翅片表面的温度比空气干球温度、露点温度都低，空气中的水分就在换热器表面凝结，进而形成霜层。霜层出现后，不但加大了空气流过换热器的流动阻力，还恶化了换热器表面和空气间的传热热阻，致使蒸发温度不断降低，压缩机吸气压力减小，系统制热量进一步减少。为恢复换热器的换热能力，机组得周期性进入除霜模式，而除霜过程的触发时机、持续时间、控制策略，对系统的整体运行效率和供热连续性有着直接影响。实际工程里常见的除霜不彻底、除霜误判，还有除霜过程中室内侧水温波动大等问题，让供暖质量明显受影响，室内热环境舒适度降低。

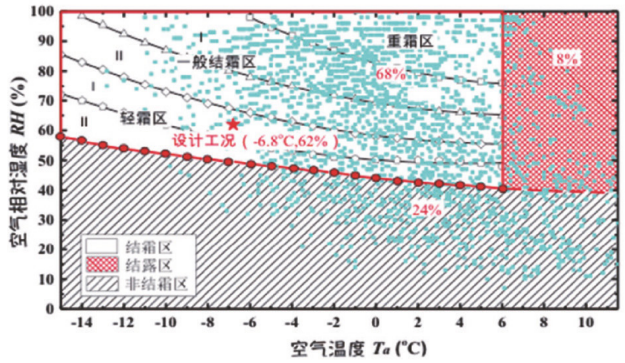


图 1 空气源热泵在寒冷地区结霜问题

2.3 设备选型与建筑负荷匹配困难

寒冷地区冬季室外温度范围跨度比较大，建筑热负荷在供暖开始阶段、严寒时期、供暖结束阶段表现出明显不同，空气源热泵制热输出能力会随着室外温度降低而减弱，这种特性和建筑负荷随温度降低而增加的需求呈现相反分布，给设备容量选择带来很大挑战。要是按照严寒期最大热负荷来选择型号，那么机组在过渡季会长期处在部分负荷运行状态，频繁启动停止会致使能效降低、使用寿命缩短，要是依据平均负荷来选择型号，在极端天气状况下机组出力不够，需要依靠辅助热源补充供热，要是辅助热源的配置比例和控制策略设计不好，很容易造成系统运行能耗大幅上升 [2]。另外，空气源热泵额定工况和实际运行工况有偏差，使得设计阶段设备选型大多依据经验估算，缺少精准的动态负荷模拟、机组性能耦合分析，导致很多工程供暖效果和预期目标相差明显。

2.4 初期投资较高影响推广应用

相比于传统的燃煤锅炉或者燃气锅炉供暖方式而言，空气源热泵系统的设备单价一开始就处于比较高的水准。特别适合寒冷地区的低温型空气源热泵机组，它的压缩机配置、换热器结构、风机选型、关键部件的耐低温性能对普通型机组有着更高要求，相应成本也提高不少。除了主机设备之外，空气源热泵系统在寒冷地区还需要配置辅助热源、蓄热装置、防冻措施、更复杂的控制系统，这些附加设备和设施的投入进一步提高系统整体造价。在工程实践当中，室外机组的安装基础、管道保温、电伴热系统、配电增容等配套工程费用同样不能忽视。虽然空气源热泵在运行环节有一定的节能优势，但是它的增量投资在寒冷地区供暖项目中的回收周期常常比较长，在没有有效政策补贴或者电价优惠支持的情况下，建设单位和用户面对较高的初始投入时一般都持谨慎态度，这也直接限制了该技术在寒冷地区工程中的大规模应用。

3 寒冷地区空气源热泵供暖的工程应用对策

寒冷地区的空气源热泵供暖工程建设环节，为了更好的提升整体效率，保障寒冷地区供暖到位，应合理优化管理举措，根据寒冷地区的特殊性确定最佳的应用方案，以保证空气源热泵供暖工程实施效果达到最佳。

3.1 选用喷气增焓压缩机提升低温制热能力

在应用相关设施时，要结合寒冷地区区域位置加以分析，还要考虑各个不利因素，以此排除风险隐患，保障基本的应用效果。在对设备进行选型的时候，应当首先考虑选用配备了喷气增焓技术的低温型空气源热泵机组。设计人员需要依据项目所在地区的极端最低气温，挑选出在该温度环境下依旧能够稳定启动并且保持有效制热输出的压缩机类型 [3]。喷气增焓压缩机通过在压缩腔中间设置补气回路，把部分制冷剂引入中间腔进行二次过冷，这样就增加了蒸发器侧的制冷剂循环量，进而提高低温工况下单位质量制冷剂的制热能力。在具体的选型过程中，要让设备供应商提供机组在不同室外干球温度、不同出水温度条件下的制热量修正曲线与能效比修正数据，并且依据这些数据来进行校核计算。应该优先选用配置了变频技术的机组，使得压缩机转速能够依照室外温度波动、建筑实时热负荷需求进行无级调节，防止定频机组在部分负荷工况下频繁启停，以此在较宽的室外温度范围内维持较高的综合部分负荷性能系数。

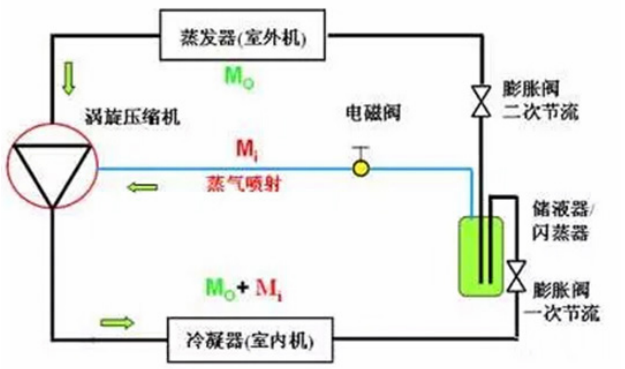


图 2 增焓压缩机系统示意图

3.2 优化融霜控制策略减少化霜能耗损失

融霜控制方面，要抛弃传统定时融霜方式，建立基于

多参数实时感知的智能融霜控制模式。在室外换热器翅片表面、盘管管路、环境空气侧的关键地方布置温度传感器、压力传感器和湿度传感器，控制系统持续采集翅片温度、蒸发压力、环境温湿度、机组运行时长等数据，以此综合判断换热器表面的结霜情况。控制算法要依据霜层形成过程中传热特性的变化，动态确定融霜启动时机和融霜持续时间，防止出现无霜融霜造成的能源浪费或者融霜不彻底致使的霜层累积。融霜方式采用四通阀换向热气融霜作为主要手段，让高温制冷剂直接进入室外换热器进行逆向循环，快速融化霜层。对于盘管底部等容易积水结冰的部位，要增设电加热带进行辅助融霜，保证融霜产生的冷凝水能及时排出，避免二次结冰。控制系统还需具备自适应学习能力，依据历史运行数据和室外气象参数的变化趋势，自动优化融霜周期，缩短融霜过程对室内供热连续性的影响时间。

3.3 开展负荷核算与设备选型专项论证

负荷核算与设备选型时，要把全年动态负荷模拟技术当作设计依据引入。设计单位要用专业建筑能耗模拟软件，按照项目所在地的典型气象年数据，建建筑几何模型，准确输入围护结构热工性能参数、室内发热量设定值、人员作息规律、空气渗透特性等基础数据，逐时算出整个供暖季建筑热负荷分布特征。经模拟计算，明确严寒期峰值负荷数值、持续时长、过渡季基础负荷分布区间 [4]。设备选型阶段，要把动态负荷模拟结果和所选机组的变工况性能曲线做耦合分析，验证机组在严寒期有无满足最大热负荷需求的出力能力，在过渡季有无良好的部分负荷调节性能。多台机组并联的系统，要针对机组台数配比、启停顺序、负荷分配逻辑做专项论证，保证负荷变化时各机组能协同运行，防止因容量配置不当出现频繁启停或长时间低效运行状态 [5]。

3.4 合理配置辅助热源降低系统初投资

在辅助热源配置这个环节上，要采用空气源热泵跟辅助热源相耦合的复合供暖系统形式。在设计阶段，需依据供暖季室外平均温度所对应的建筑热负荷来挑选空气源热泵主机，让它承担供暖期的基础热负荷，当室外温度低于机组经济运行的临界温度时，就由辅助热源来补充不够的热量。辅助热源的形式要依据项目所在地的能源供应条件、电力容量限制、能源价格水平综合判定，常见的方案有。电锅炉、燃气锅炉、生物质锅炉或者太阳能集热系统等。在系统设计进程中，要明确热泵机组与辅助热源的启停顺序、负荷分配比例、联锁控制逻辑，通过优化运行策略达成全生命周期内总费用的最小化 [6]。辅助热源的容量配置应以满足严寒期极端工况下的供热缺口为目的，防止过度配置致使初投资增加。对于采用电锅炉作为辅助热源的系统，要结合当地峰谷电价政策，考虑设置蓄热装置，利用低谷电价时段来蓄热，进一步降低运行费用。

4 结语

总的来说，寒冷地区空气源热泵供暖面临一些关键挑战，比如制热会出现衰减，会有结霜化霜现象，负荷匹配方面存在问题、初投资较高等。喷气增焓技术和智能融霜技术让设备在低温环境下的适应性得到提高，精细化的负荷核算、合理的设备选型，使得系统与建筑需求能够精确匹配，而辅助热源配置在保障可靠性的同时还优化了初始投入成本。这些对策需要在设计过程中进行全面考虑和规划，形成一个从设备选型到运行调节的完整技术链条。展望未来，压缩机与换热器技术取得进步会改善低温制热效率，智能控制策略不断深入会提高负荷匹配的精准程度。随着工程经验的不断积累，空气源热泵在寒冷地区的应用会朝着系统化、智慧化方向发展，达成供暖品质与能效经济的统一。

参考文献

[1] 梁士民, 王哲, 高学锋, 闫月茹, 王刚, 胡松涛, 徐策. 不同阵列规模下空气源热泵“冷湿岛效应”变化规律及影响实测研究[J]. 制冷学报, 1-11.

[2] 谢丽娅, 唐亮, 李金伟. 严寒和寒冷地区空气源热泵与PVT联合供暖系统优化性能对比研究[J]. 制冷与空调(四川), 2026, 40 (01): 29-37+55.

[3] 王赠印, 谢戬烨, 刘默, 公衍招, 李艳, 张京州. 地源热泵与空气源热泵复合系统在冷负荷占优地区的应用与研究[J]. 建筑节能(中英文), 2026, 54 (01): 33-40.

[4] 冯廷龙, 王光芹. 空气源热泵系统在建筑供暖与供冷中的应用研究——以教育类建筑为例[J]. 暖通空调, 2025, 55 (S2): 749-752.

[5] 罗西, 王玉盼, 张园庆. 双碳目标下高校校园太阳能-空气源热泵供暖系统优化设计及节点碳势分析[J]. 太阳能学报, 2025, 46 (11): 451-460.

[6] 李旭, 徐海峰, 张玲, 宫帅. 空气源热泵在非供暖季小区生活热水系统节能改造中的应用案例分析[J]. 节能与环保, 2025, (11): 32-38.