



双碳目标下的热泵供暖路线研究

建科环能科技有限公司

2023年6月

热泵技术的发展始终同能源与环境问题息息相关，作为可再生能源利用的有效途径，是联合国能源署认定的节能减碳关键技术，在我国获得了广泛的应用。2020年9月，习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论上宣布，中国将采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。双碳战略下推动我国的能源领域将发生革命性变化，热泵将如何在我国的建筑领域能源结构调整中发挥更大的作用尚存在一系列待解决问题：1) 多样性需求下，热泵供暖典型应用场景有待梳理；2) 碳中和目标下，热泵供暖在2030和2060将发挥怎样的减碳替代作用，未来发展应用情景尚不清晰，减碳贡献缺乏科学预测；3) 为推动热泵供暖高速应用，我国的现有政策标准体系仍有待提升。为了针对性解决以上问题，开展双碳目标下中国热泵供暖路线研究，辨识热泵应用典型场景，开展热泵供暖的减碳潜力预测，对影响热泵供暖的技术、产业、政策方面因素进行分析，提出推动热泵供暖高速发展需要克服的障碍和问题，为使热泵供暖在中国发挥更大的减碳贡献提供支撑。

1 热泵供暖现状

1.1 我国供热产业发展历史

我国国土面积广阔，跨多个气候带，由北到南季节温度差异显著，建筑供暖是北方地区人民冬季过冬的刚性需求。我国建筑集中供暖以秦岭淮河为界，如图1-1所示，分为南北区域，集中供暖仍然集中在北方地区，南方地区分散供暖。



图 1-1 我国南北供暖线示意图

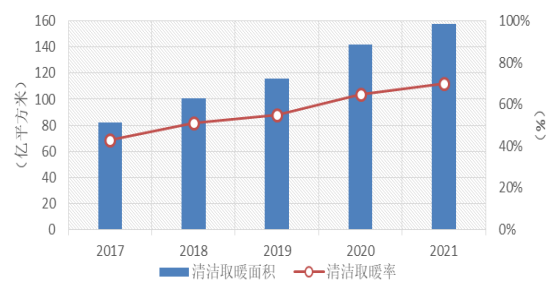


图 1-2 北方地区清洁供暖面积变化曲线

我国的供暖产业发展分为四个时期：供热产业起步期（1949-1979年），供热产业发展期（1980-1999年），供热产业转型期（2000-2016年），清洁供热新时代（2017年至今），2021年北方地区清洁供热面积为158亿平方米，清洁供暖变化曲线如图1-2所示。

1.2 热泵分类及市场现状

热泵是在高位能驱动下，通过热力学逆循环连续地将热量从低位热源转移到高温物体或者介质，并用于制取热量的装置。根据热泵利用的低位热源不同划分的分类示意如图 1-3 所示。为了区分热泵与空调产品的差异，项目组基于我国的产品国标，对热泵空调产品分类进行梳理，如图 1-4 所示。可以看出热泵以供暖作为主要功能因此其适用温度范围更低，更加注意气温环境下制热运行。空调产品则主要以供冷工况为主，热泵型空调作为其可选机型，最低应用温度多为-7℃。产品技术标准中名称，往往根据产品应用场景和功能确定，在市场销售中明目过于繁琐，因此，热泵空调行业通常根据国家质检总局的制冷设备产品生产许可及强制性产品认证目录，对于空气源热泵产品以 35kW 为界，分为家用热泵和商用热泵两类，空调产品则以 24.36kW 为界，分为家用空调和商用空调，在后续的热泵产业数据分析中均以此为据。

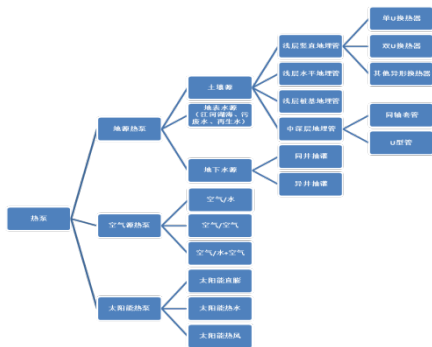


图 1-3 热泵分类示意图

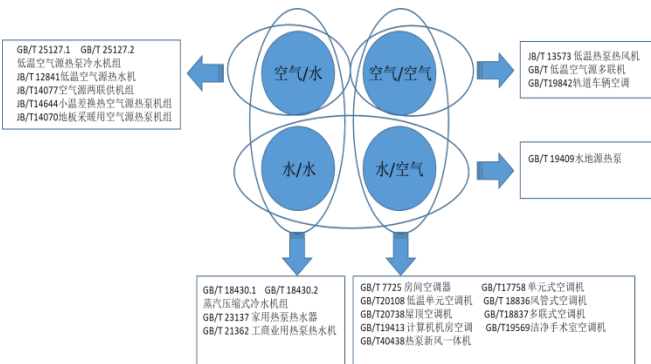


图 1-4 热泵产品双侧换热类别划分示意图

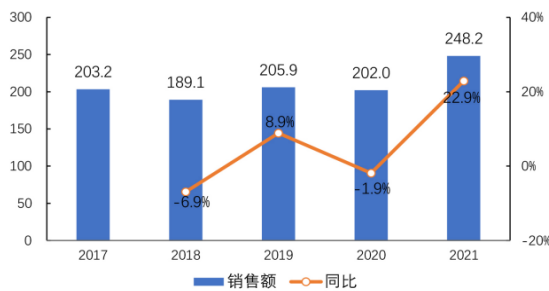


图 1-5 我国热泵市场变化曲线图

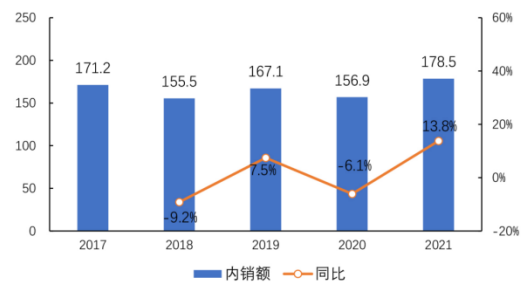


图 1-6 我国热泵内销部分变化曲线图

长江流域及以南地区供暖以分散式热源为主，为各类热泵技术提供了良好的应用条件，新增供热需求 95% 以上也是由热泵型空调满足，此区域应用的空气源热泵仍以普通机型为主，近年来主要增长为低温型产品。我国热泵市场变化如图 1-5 所示，我国的热泵市场规模已经接近 250 亿，出口市场的迅猛增长拉高了整

体行业规模，国内销售部分变化曲线如图 1-6 所示，虽然三年疫情对热泵销售及应用造成了一定冲击，但整体市场仍然呈现逐年上升的态势。

1.3 热泵供暖需求及适用类型分析

我国严寒、寒冷地区是我国设置集中采暖的区域，夏热冬冷地区室外平均温度低于 5℃的天数低于 90 天，对应无集中采暖区域，这个地区是居民热舒适要求日益强烈的区域。夏热冬暖地区，对供暖系统的要求也无明确要求，由建筑使用性质及业主需求确定。温和地区全年温度最低月气温 0-13℃，仅部分地区需要考虑采用供暖装置和系统进行补充。

热泵根据其低位热源的来源可以划分为不同的技术类型，包括：浅层地埋管地源热泵、中深层地埋管地源热泵、地下水源热泵、地表水源热泵、污水源热泵、中深层地热水热泵、空气源热泵等，根据技术形式不同具有其不同的技术特点及难点。对应不同气候区负荷需求特点，对应可采用的热泵典型技术类型如图 1-7 所示。



图 1-7 我国不同气候区热泵适用类型划分示意图

2 热泵供暖在双碳目标下减碳潜力

2.1 热泵供暖应用发展预测

建筑面积发展规模是建筑能耗与碳排放的重要影响因素，本文基于前人研究成果，根据最新数据对建筑面积存量模型进行修正。提出三种建筑面积发展规模，在三种建筑规模下，城镇人均居住建筑面积分别达到 45 m²/人、42 m²/人、40 m²/人，人均公共建筑面积分别达到 19 m²/人、18 m²/人、16 m²/人，农村人均建筑面积在三种模式下均达到 50 m²/人。其中，需要进行采暖的建筑主要由以下三方面

构成：北方城镇供暖、北方农村供暖、夏热冬冷公建供暖、夏热冬冷地区居住建筑供暖。考虑建筑不同增速下未来存量建筑总量，同时考虑人口及城镇化率变化，对应夏热冬冷地区占全国人口的 40%，估算北方地区和夏热冬冷地区的供暖面积变化情况如图 1-8 所示。

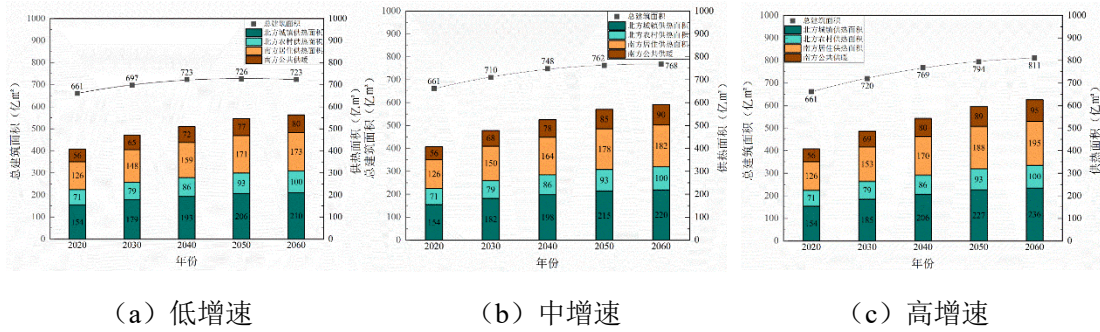


图 1-8 不同增速下建筑面积及供暖面积变化情况

在建筑面积低增速情况下，需求侧减排量最大，以此为基础进行的热泵减碳替代效果最明显，因此本项目对建筑面积低增速下热泵减碳量进行测算。在双碳目标的指引下，我国热泵供暖发展可以划分为三个阶段：初期应用上升阶段、高速上升阶段、稳定应用阶段。而各个阶段的累计应用量，总是随时间连续上升。针对以上增长预测模型应用筛选表明，Logistic 模型更加适用，将其进行整理后的曲线方程如（1）。

$$y(t) = \frac{K}{1 + Ae^{-bt}} \quad (1)$$

式中，K 为饱和水平；A 为模型系数，根据既有数据得到；b 为发展速度因子；y(t) 是第 t 年的预测值。

适用于热泵供暖减碳量预测，主要是由于它具有以下重要特性：1) 利用极限和导数工具进行分析，Logistic 曲线具有两条渐近线，即初始线和饱和线；2) 单调性，当 $K > 0$, $b > 0$ ，则 $y' > 0$ ，故 Logistic 曲线为严格单调递增函数；3) 有唯一拐点，当 y 的两阶偏导为 0 时，可求出其唯一拐点。Logistic 曲线增长过程变化趋势为慢-快-慢，与热泵供暖技术未来发展特性相符合，因此，本文热泵的应用量和 COP 变化采用此模型进行后续减碳量预测。

2.2 不同发展情景热泵供暖减碳量计算分析

本文采用碳排放因子法计算碳排放。排放因子法是目前应用最广泛的碳排放计算方法，适合任何尺度的计算，有全面的排放因子数据库作为参考。碳排放量的公式为：

$$C = \sum A_i \times EF_i \quad (2)$$

式中, A_i 为不同种类能源的消耗量, 对于直接碳排放一般为用户消耗的煤炭、燃气等, 而间接碳排放一般是消耗的热力、电力等, GJ 或 kWh; EF_i 为不同种类能源的碳排放因子, tCO_2/GJ 或 gCO_2/kWh 。

热泵在建筑供暖中的使用, 减排量需要综合考虑未来热泵应用规模合理扩大及与之同时改变的电力生产方式变革、用热需求变化的影响, 潜在减排量是指当前情景碳排放量与未来推广热泵、进行电力生产方式变革、需求侧变化之后的碳排放量的差值, 可进一步细分为热泵减排量、电力端减排量和需求侧减排量三部分, 如图 1-9 所示。

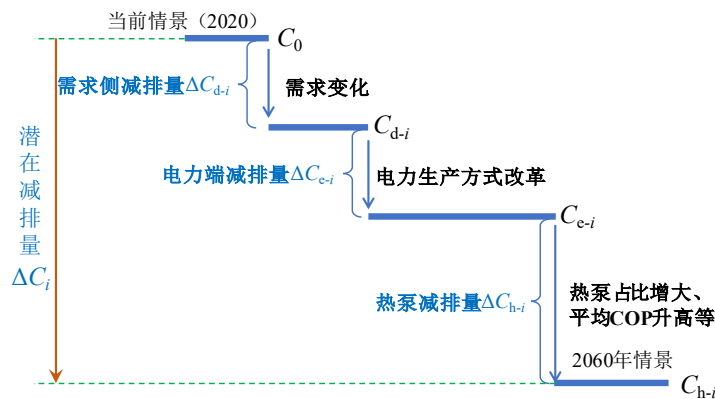


图 1-9 各减排量核算示意

在热泵建筑供暖逐步推进过程中, 优先替代化石燃料直接燃烧供暖形式, 并在新建建筑中优先采用。北方城镇及农村地区仍有燃煤使用, 因此在热泵逐步替代化石燃料的过程中是被替代的主要对象; 南方居住建筑和公共建筑的热源比例各有不同, 南方居住建筑的热源有燃气, 燃煤, 电加热等, 因此在热泵替代的过程中, 先替代化石能源煤, 再替代电直接加热。南方公共建筑初始仍有部分使用燃油作为热源, 没有燃煤, 因此在替代过程中, 先替代燃油再替代燃气。经调研得到现有各类供暖占比, 以及未来可替代空间, 得到热泵不同增速下的碳排放量及减排量如图 1-10 所示, 由需求侧、电力端和热泵带来的细分减排量如图 1-11 所示。

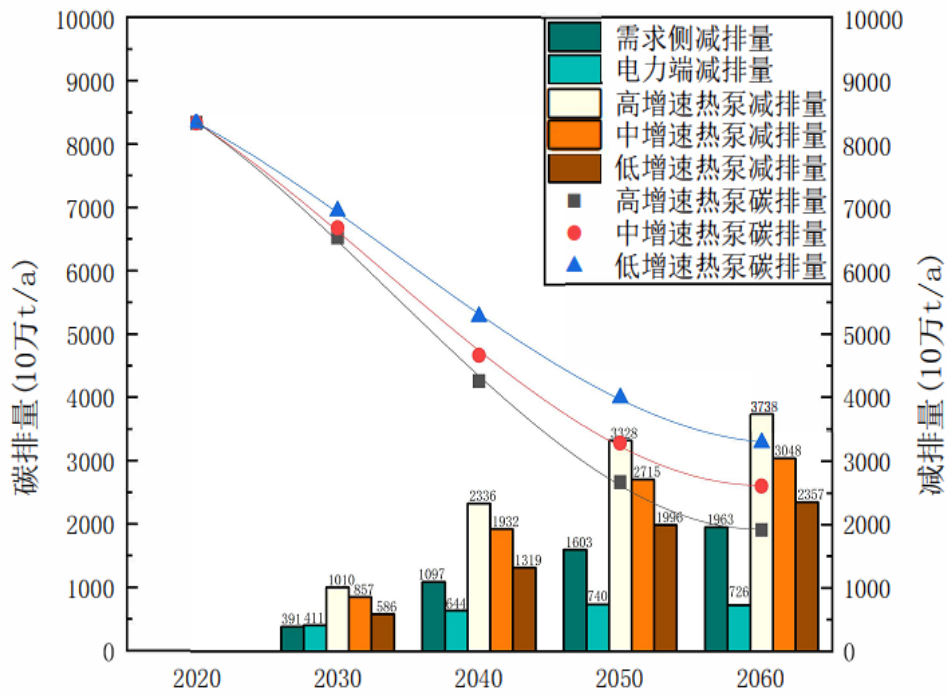


图 1-10 建筑面积低增速下碳排量与减排量计算

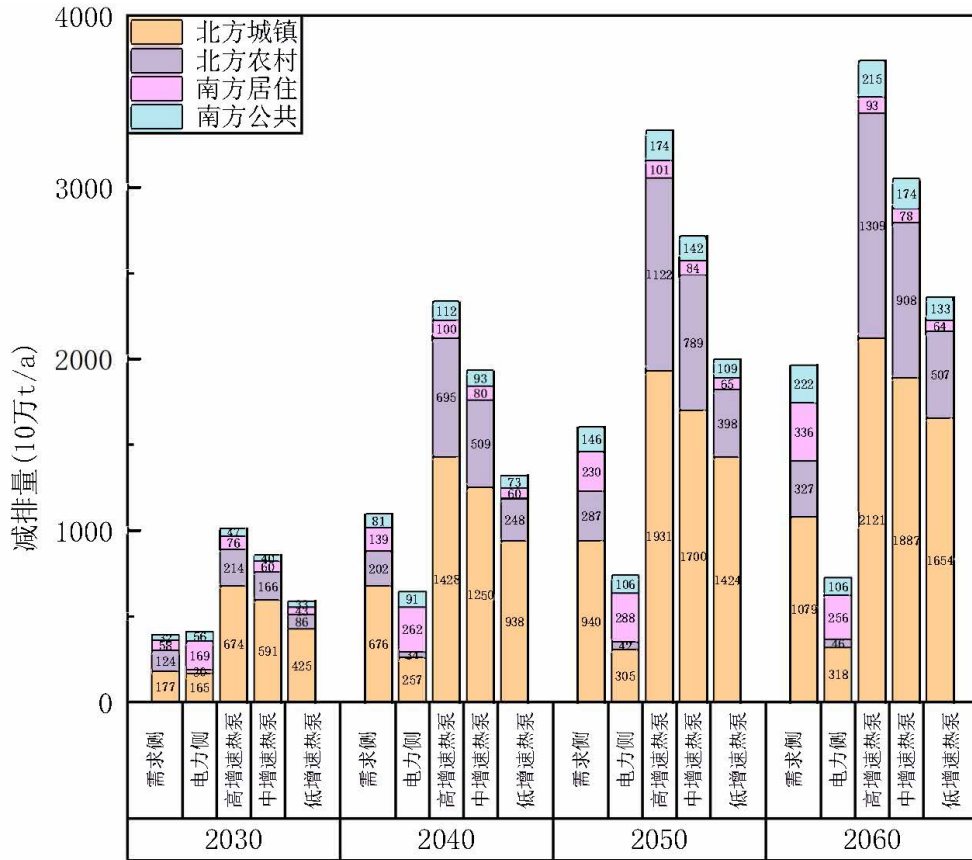


图 1-11 建筑面积低增速下减排量细分图

由图可知，对 2060 年可以实现的理想热泵供暖应用状态、保守状态和中间

状态三类进行分析，得到不同热泵增速情景下建筑供暖减碳潜力在 6.048 亿 t/a~7.703 亿 t/a 之间，其中由建筑需求侧降低减少的碳排放量为 1.963 亿 t/a，由电力侧清洁化减少的碳排放为 0.726 亿 t/a，单纯由热泵应用增加和热泵能效提升减少的碳排放为 2.357 亿 t/a~3.738 亿 t/a。分区域来看，无论需求侧、电力侧及热泵应用推广侧，未来的重点是北方城镇地区，其次是北方农村。从需求侧和电力侧提升两个方面，南方地区碳减排量贡献大的是居住建筑，从热泵应用推广侧而言，南方地区公共建筑贡献量大于居住建筑。

3 热泵供暖应用推广政策分析

3.1 我国热泵供暖政策基础分析

热泵技术作为可再生能源利用的关键技术，得到了我国各级政府给与的大力支持。国家级政策奠定可再生能源利用的法律基础，在国家重大发展战略中多次明确可再生能源利用在我国能源体系中的重要作用，随着热泵技术在可再生能源利用领域及节能减排方面的贡献不断扩大，政策机制从可再生能源应用支持进一步明确为支持热泵技术应用，说明热泵技术的低碳高效特性在我国得到了更进一步的认可，在双碳目标的引领下，未来的推广力度会持续加强。

各级地方政府政策综述可知，热泵应用推广政策在各地主要体现于绿色建筑政策、能源政策特别是清洁取暖政策体系当中，因地区差异侧重点各有不同，地热能的热泵利用由于其资源的普遍性和可得性高，在大部分地区省市政策中均有提及，空气源热泵鼓励政策则在华北、华东和华中地区较多，长江流域地表水资源丰富的江苏、重庆等有水源热泵鼓励政策。财政支持机制分两个层级，国家财政部通过 2009 年的可再生能源示范城市和示范县项目实施，支持了四十余个示范城市级可再生能源应用示范，推动了我国地源热泵迎来了快速增长期。2017 年实施的清洁取暖试点，推动了空气源热泵供暖的快速增长，到目前为止已经有 88 个清洁取暖试点城市，在清洁取暖试点城市应用空气源热泵替代散煤供暖，均有国家级财政拨款补贴。地方财政支持力度各不相同，全国具有地源热泵补贴政策的有北京、上海、重庆和吉林，根据地方财政能力给予不同的补贴，补贴以政府投资项目，或者可再生能源示范项目为主。对于空气源热泵，清洁取暖试点城市均根据国家政策拨款进行地方政府配套资金支持，补贴范围也是在清洁取暖改造范围内项目。另外部分经济发达省市积极探索绿色金融投资，引导其进行热泵及

可再生能源利用相关方面投资，探索热泵技术应用金融化市场化发展。

3.2 我国热泵供暖障碍及支持措施分析

热泵在政策支持及需求拉动双重作用下，在我国已经取得了规模化应用，但在进一步推广过程中仍然存在一些障碍和壁垒。主要有以下几个方面：

- (1) 能源结构和价格体系决定的热泵应用经济性竞争力不足；
- (2) 低位热源决定的热泵供能强度，限制了应用场景；
- (3) 热泵技术应用政策多为引导示范，强制性不足；
- (4) 热泵产品及系统应用水平需要提升，运维水平不高影响其节能效果；
- (5) 相关行政管理体系在大规模推广热泵应用中需要提升协同；
- (6) 热泵供暖市场活力有待进一步激发；
- (7) 热泵技术宣传仍然需要加强，群众认识有待提升。

为克服以上的障碍和问题，需要从政策、经济和技术三方面提供支持措施，推动热泵供暖高速应用。

● 政策支持

(1) 基于地方电网能力及用电特性，结合政府财政情况，给予热泵供能优惠电价。电能作为热泵主要的驱动能源，其价格是影响热泵供能经济性的主要因素，电价优惠是提升热泵供能经济性竞争力的有效保障措施。

(2) 加强产品和工程建设，引导提升热泵供暖水平。提高热泵产品及系统能效是扩大热泵供暖系统竞争力的另一个关键点，需要通过不断提升标准规范要求引导技术发展，推动能效水平提升，加强热泵技术的竞争力。

(3) 政策从引导性向强制性转换。在适用地区对热泵技术应用成熟的领域，逐步尝试从推荐性应用技术政策上升为强制性应用技术政策，提升热泵应用比例。

(4) 加强宣传，使热泵技术节能环保减碳深入人心。加强媒体宣传，提高热泵技术的传播度和认知度，改变传统能源文化，使热泵从概念到身边，成为用户解决用能需求的必然选择。

● 经济扶持

(1) 直接给与经济补贴。对于农村地区采用分散式热泵供暖替代传统化石能源燃烧取暖的类型，针对农户对热泵认知度低，收入差，需要给与直接的经济补贴，来弥补热泵产品初投资与传统简易燃烧炉之间的价格差，使用户逐步接收供暖方式的转变，热泵供暖也将获得更大的推广应用。

(2) 对热力公司或者电力公司实施以奖代补。分散式热泵供暖，需要有电力公司的电力增容进行辅助配套，对于部分升级成本高的改造，应给予一定的奖励，以奖代补推动热力及电力公司的积极性。

(3) 优化政府管理机制，给新能源热泵应用相关企业给予税收优惠，给自配热源的地产项目容积率政策。调动市场积极性，从管理机制出发，采用多种措施鼓励应用热泵供暖，使具备应用条件的项目优先选用热泵供暖。

(4) 大力发展绿色金融。扩大绿色金融对热泵供暖的支持力度和支持范围，通过金融领域创新，探索适合促进热泵供暖发展的新举措，有力的推动热泵供暖的发展。

● 技术进步

(1) 提升热泵产品和系统供暖能效。技术的推动主要从两个方面着手，一方面是核心产品能效提升，另一方面是关键技术的提升，可发挥更大的节能减排作用，有效提升热泵供暖竞争力。

(2) 鼓励多能互补系统应用，提升系统供能可靠性。多能互补的热泵系统可以有效弥补单一系统不足，解决可再生能源的不稳定性、受资源性条件限制等问题，提升系统的可靠性，进一步推动扩大热泵供暖的范围。

(3) 开发满足用户需求的热泵产品。扩大热泵应用，要充分与用户需求相结合，要符合风俗习惯，注重不同热泵产品的适用地区。细分类别的热泵供暖复合产品出现，将会进一步扩大热泵应用场景和应用范围。

(4) 加强应用效果监测和项目后评估，推动热泵持续高效使用。加强热泵运行能效后评估，积极推广高效运行管理系统，使热泵供能向按需供能方向发展，引导市场从重建设向重运行转变，将热泵高效运行落到实处，提振用户信心，会进一步扩大热泵供暖市场份额。

4 总结

通过本项目研究，对我国供暖沿革进行了梳理，明确在我国当前进入清洁取暖阶段。根据我国气候和可再生能源特点，进行了区域热泵适宜技术类型分析，对当前热泵产业发展成果进行汇总，总结热泵供暖取得的成果和发挥的作用。以热泵供暖当前发展成果为基础，考虑建筑面积低增速变化条件下，热泵应用分高、中、低三种情景，预测热泵供暖在 2030 和 2060 的减碳潜力和减碳量，分为北方

城镇、北方农村、南方居住和南方公共四个区块进行预测分析，从需求侧、电力侧和应用侧三个层面进行减碳量累加，得到热泵供暖减碳潜力在 6.048 亿 t/a~7.703 亿 t/a 之间，可见热泵供暖是我国双碳目标实现的重要支撑。最后对我国现有热泵支持政策进行了汇总分析，提出了当前热泵供暖应用中仍然存在的障碍和壁垒，并从政策、经济和技术三个层面提出针对性技术措施，为热泵供暖工作进一步深入推广提供思路。