

太阳能热泵技术应用对碳排放影响研究

罗 凤, 马宇洋, 路玉娇, 张正国*

北方民族大学化学与化学工程学院, 宁夏 银川

收稿日期: 2024年11月18日; 录用日期: 2024年12月30日; 发布日期: 2025年1月16日

摘 要

随着全球气候变化和环境污染问题日益严重, 太阳能热泵技术作为一种清洁、可再生能源利用方式, 受到广泛关注。本文将对太阳能热泵技术应用对碳排放影响的研究进行综述, 分析太阳能热泵技术的原理、分类及其在建筑供暖、热水供应等领域的应用, 并对已有研究和案例进行综合分析, 分析其减排潜力, 探讨太阳能热泵技术对碳排放的影响, 就其提出相应的政策建议。最后, 总结全文对于太阳能热泵技术的主要观点, 对未来研究的方向提出展望。

关键词

太阳能热泵技术, 碳排放, 可再生能源, 建筑供暖, 热水供应

Research Review on the Influence of Solar Heat Pump Technology Application on Carbon Emission

Feng Luo, Yuyang Ma, Yujiao Lu, Zhengguo Zhang*

Chemical Science and Engineering College, North Minzu University, Yinchuan Ningxia

Received: Nov. 18th, 2024; accepted: Dec. 30th, 2024; published: Jan. 16th, 2025

Abstract

With the increasingly serious problems of global climate change and environmental pollution, solar heat pump technology, as a clean and renewable energy utilization method, has attracted wide attention. This paper reviews the influence of solar heat pump technology application on carbon emissions, analyzes the principle of solar heat pump technology and its application in building heating, hot water supply, etc, analyzes the existing research and case, and analyzes the emission reduction

*通讯作者。

文章引用: 罗凤, 马宇洋, 路玉娇, 张正国. 太阳能热泵技术应用对碳排放影响研究[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(1): 66-75. DOI: 10.12677/aep.2025.151010

potential, discusses the influence of solar heat pump technology on carbon emissions, and put forward the corresponding policy Suggestions, finally, summarizes the main point of the full text, puts forward the prospect for the future research.

Keywords

Solar Heat Pump Technology, Carbon Emissions, Renewable Energy, Building Heating, Hot Water Supply

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球气候变化和环境污染问题已经成为人类面临的一大挑战。为应对这一问题，各国政府和企业都在积极寻求减少碳排放、提高能源利用效率的途径。太阳能作为一种清洁、可再生能源，具有广泛的应用前景。随着全球能源需求的不断增长，太阳能热泵技术是一种将太阳能与热泵技术相结合的能源利用方式，具有高效、环保、经济等优点。本文将对太阳能热泵技术应用对碳排放影响的研究进行综述，以期为我国太阳能热泵技术的发展提供参考。

2. 太阳能热泵技术原理及分类

2.1. 太阳能热泵技术原理

太阳能热泵是一种利用太阳辐射能转化为热能，再通过热泵将热能转化为机械能的装置。其工作原理为利用半导体材料吸收太阳辐射能，通过逆循环工作过程，将太阳能转化为可供使用的热能与电能。太阳能热泵技术即利用太阳能作为热泵系统中的一部分或全部的热源，通过热泵循环实现热量由低温热源向高温热源的传递，就此实现能源的高效利用。太阳能热泵系统组成主要为太阳能集热器、热泵循环、热交换器，以及储热装置等。早在 20 世纪 50 年代，Jordan 和 Threlkeld 就提出了太阳能热泵的概念，随着时间推移，太阳能热泵技术已从理论变为现实。太阳能热泵技术的关键优势在于它能够高效利用太阳能，减少传统能源消耗，降低环境污染，并且能够稳定地提供热水[1]。由于太阳能是一种可再生的清洁能源，太阳能热泵系统在节能和环保方面具有显著优势。太阳能热泵复合供热系统的污染物减排表如表 1 所示。

Table 1. Pollutant emission reduction statement (unit: ton)

表 1. 污染物减排表(单位: 吨)

节能减排量	节约能源/标准煤	污染物减排	
		二氧化碳	碳
每年	54.8	136.6	37.3
15 年	822	2049.2	558.9

2.2. 太阳能热泵技术分类

根据太阳能集热器与热泵循环的结合方式，太阳能热泵技术分为直接膨胀式太阳能热泵(DES)和间接

膨胀式太阳能热泵(IES)两大类。集热/蒸发器的热损失严重与集热/蒸发器、压缩机之间的匹配性差，都是系统在设计过程中需要考虑和注意的。

直膨式太阳能热泵系统主要有集热/蒸发器、压缩机、冷凝器和膨胀阀四部分组成，其主要是充分利用太阳能热和热泵技术，太阳能为热泵蒸发器部件提供热源，而热泵技术可以弥补单一太阳能热水系统如图 1 利用的稳定性的缺陷。

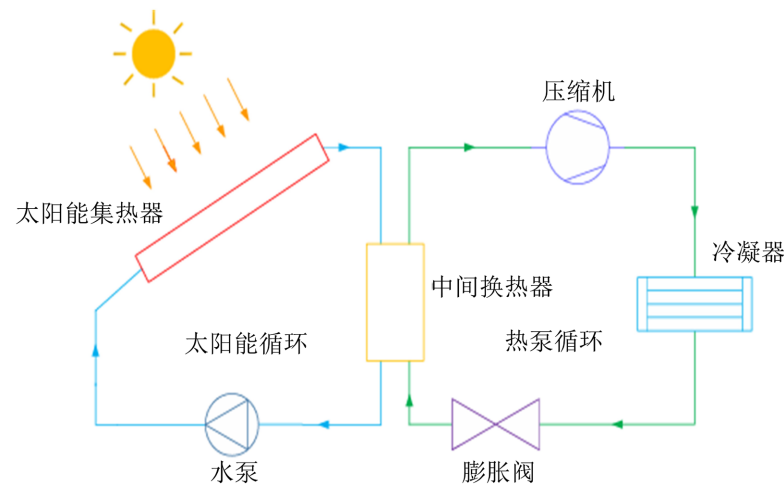


Figure 1. Traditional solar-assisted heat pump system
图 1. 传统太阳能辅助热泵系统

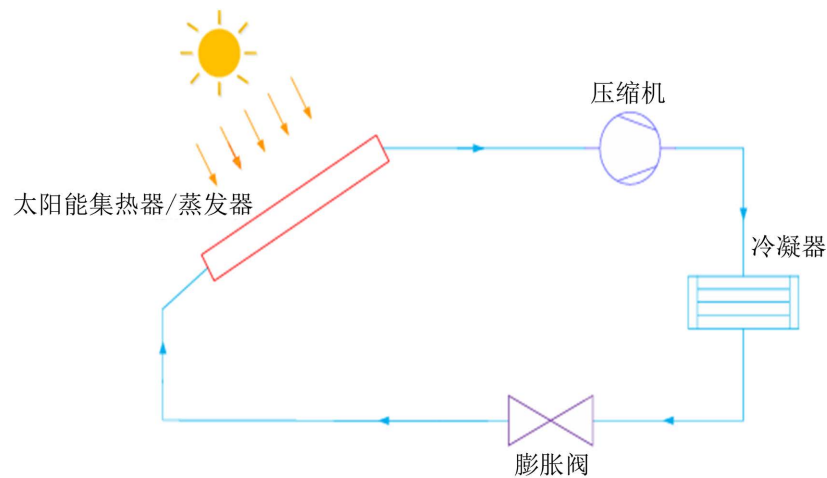


Figure 2. Straight expansion solar-assisted heat pump system
图 2. 直膨式太阳能辅助热泵系统

直膨式太阳能辅助热泵系统如图 2 是一种集成了太阳能热利用技术和热泵技术的复合系统，旨在最大限度地利用空气中的低品位热能与太阳能。以下是影响该系统效果的关键环节和因素的分析：

系统热力循环与控制策略：直膨式太阳能辅助热泵系统将太阳能集热器与室外换热器并联，追求空调系统最佳运行工况品质是控制策略的第一考虑因素。由于系统中设计了蓄热水箱，用以最大限度地储存热能，弥补太阳能光照不足与长时间低温天气低品位热源的不足，因此控制策略与常规热泵控制策略有所不同。

太阳辐射强度：太阳辐射的间歇不稳定性对系统的影响显著。系统实际运行工况逐时变化，这使得

系统运行可靠性和太阳能利用率均降低。太阳辐射强度的变化直接影响系统的热性能，如集热效率和系统的平均 COP(性能系数)。

环境温度：环境温度对直膨式太阳能热泵系统的热工性能有显著影响。低温环境下，热泵的蒸发温度和性能系数(COP)会受到影响，进而影响整个系统的效率。

集热面积：集热面积的大小直接影响太阳能的收集量，从而影响热泵系统的供热能力。集热面积的优化配置对于提高系统效率至关重要。

压缩机转速：压缩机的转速会影响热泵系统的循环效率和能耗。通过调整压缩机转速，可以优化系统的热工性能。

过热度控制：集热/蒸发器出口过热度控制直接影响系统的稳定可靠性和运行效率，是系统控制的重要环节。电子膨胀阀具有流量调节范围宽、调节精度高、调节速度快和适于电路控制等特点，能够很好地改善系统变负荷动态特性，实现系统稳定、高效运行。

PVT 组件的工作温度：PVT(光伏光热)组件的工作温度对系统性能有显著影响。降低 PVT 组件的工作温度可以提升组件的发电效率，同时提升热泵循环的蒸发温度，从而改善热泵系统的运行性能。

系统 COP：系统 COP 的提高可以降低平准化供热成本，提高系统的经济性。系统 COP 的优化对于提升系统性能和降低运行成本至关重要。

太阳辐照：太阳辐照的强度和分布对系统的设计和运行有直接影响。高太阳辐照区域可以减少 PVT 组件的配置需求，降低初投资，从而影响系统的经济性。

运维费用：运维费用对系统的经济性有显著影响。合理的运维管理可以降低系统的运行成本，提高系统的经济性。

综上所述，直膨式太阳能辅助热泵系统的性能受多种因素影响，包括系统设计、环境条件、控制策略等。通过对这些关键环节和因素的优化，可以提高系统的性能和经济性。

为了充分利用太阳能清洁能源，太阳能热泵系统结合了太阳能能源和热泵技术的优点，形成多能源优势互补的合理利用资源的方式[2]。直膨式太阳能热泵系统在气候寒冷地区采用有盖板的集热器，而在气候温暖地区采用裸板的集热器。结霜问题是影响直膨式太阳能热泵运行的重要问题，结霜的两个必要条件：1) 集热/蒸发器表面温度低于空气露点温度；2) 空气的含湿量大于集热/蒸发器表面温度对应的含湿量。结霜现象严重影响集热/蒸发器与空气之间的热交换，导致热泵的制热量和 COP 严重下降[3]。

非直膨式太阳能热泵系统由太阳能集热器、储水箱、热泵等主要部件组成。该系统有三种运行工况：

太阳能直接供暖且太阳辐射充足时，太阳能集热器进出口温差大于设定值，储水箱温度大于 30℃，太阳能与热泵联合供暖太阳能集热器进出口温差大于设定值，但储水箱温度小于 30℃，需要启动热泵中供暖热泵单独运行。

在夜间或是阴雨天，太阳能集热器进出口温差小于设定值，太阳能集热器不运行，热泵则以水箱中的水作为热源向室内供热。

储水箱中的水温降到某一设定值时则启动其中的电辅助加热装置，以保证热泵高效运行，从而维持室内的热舒适性[4]。

2.3. 直膨式与非直膨式太阳能热泵系统的发展前景

直膨式太阳能热泵系统作为热泵供暖技术的一个重要发展研究方向，直膨式太阳能热泵供热系统中的太阳能集热器与热泵蒸发器直接相连接，但在太阳能利用过程中，存在影响直膨式太阳能热泵系统运行的性能的问题，如周期性变化、不稳定等。而非直膨式太阳能热泵供热系统则通过中间介质连接太阳

能集热器与热泵蒸发器。

3. 太阳能热泵技术应用及碳排放影响

3.1. 建筑供暖领域

在建筑供暖领域，建筑耗能是能源消费结构中的重要组成部分，占有相对较大的比重。在发达国家占其能源消费总量的 35%~40%，在我国约占社会能源总消耗的近 1/3。因此，在我国建筑领域中，一方面应大力提倡节约能源、提高能源的利用率，另一方面应鼓励优先利用太阳能等新能源。太阳能热泵作为太阳能与热泵的有机结合，为建筑新能源的利用开辟了一条新途径[5]。相比于传统燃煤供暖，在建筑供暖季中应用太阳能热泵系统的一次能源节约率可达 72%，供暖季可节约标煤 17.30 吨，CO₂、SO_x、NO_x、粉尘等减排效果良好[6]。

将太阳能热泵技术与传统的燃煤、燃气等化石能源供暖方式相结合，可提高供暖系统的能源利用效率，减少对传统能源的依赖，降低碳排放。研究表明，太阳能热泵供暖系统的碳排放量较传统供暖系统可降低 50%以上。太阳能在我国民用建筑中的利用还有一部分是热水器系统，这其中分为平板式热水器、真空管热水器、闷晒式热水器、热管式热水器、U 型管热水器。

在江西省的温汤镇太阳能热泵已经投入使用且效果优益。温汤镇位于江西省，以其丰富的太阳能资源和地热水资源而闻名。该地区日照充足，每年平均日照时间为 1737.1 小时，为太阳能技术的应用提供了优越的条件。针对温汤镇的资源情况，设计了一种太阳能双热泵系统。这个系统利用太阳能为热泵供电，并通过热泵对地热水进行重复利用。这种系统不仅节能，还有助于减少环境污染。该太阳能双热泵系统每年可产生 14,119.75 千瓦时的电力，节约电能 12,132 千瓦时，减少二氧化碳排放量 23,076.01 千克，减轻污水处理厂负担 2920 立方米[7]。

这些数据表明，该系统在实现节能节水目标的同时，也带来了显著的经济和环境效益。综上所述，温汤镇在太阳能热泵技术的应用上展现了良好的实践效果，不仅在节能环保方面取得了进展，也为当地经济发展做出了贡献。太阳能热泵还能联合风电蓄热使供暖系统优化，在新疆乌鲁木齐地区的优化设计理论成立且优化效果好，成本节省率已经达到 11.8%。以及张家口地区在光伏太阳能热泵供暖系统的实践中展现的以下几个亮点：大规模推广应用、技术创新以及示范项目的成功运行。这些实践不仅提高了能源利用效率，促进了环境保护，也为其他地区提供了可借鉴的经验。

在使用新型材料方面有研究指出制备了新型复合定型相变材料用于储存热量，并对其导热增强规律进行了研究；制备了相变换热流体用于直接收集太阳能热量，对光热集储一体性能进行了研究；针对储热单元提出了具备相变特性的隔热材料，并对其隔热特性进行了研究；构建了太阳能与空气源互补的热泵供热系统，开展了系统实验研究，对系统性能进行了评估，为带有储热功能的多能互补供热系统的应用提供参考。具体内容如下：首先，提出了一种多功能热泵系统，该系统把太阳能热泵和空气源热泵相结合，构建出太阳能 - 空气源复合热泵。此系统可达成三种功能：制取生活热水、供暖以及冷热联供[8]。

热泵技术以其高效和环保特性广泛应用于供热，但受热源温度波动影响，供热稳定性不足。结合太阳能的 PV/T 热泵虽提升能效，却受辐射波动影响。为解决这些问题，有研究提出采用正十八烷相变浆体的 PV/T 热泵系统。该系统利用相变浆体的储热能力和温度稳定的特性，旨在增强光热存储、提升光伏效率和热泵性能[9]。

太阳能矿井水源热泵系统相较于普通矿井水源热泵系统的能耗对比如表 2 以及太阳能矿井水源热泵系统减排量的统计如表 3，由这两个表可以得出太阳能在节约能耗和减少碳排放中有非常大的益处，可以达到节约 42%的能耗。对有害物质的减排量也非常可观。

Table 2. Comparison of the energy consumption between solar mine water source heat pump system and mine water source heat pump system (unit: KWH)

表 2. 太阳能矿井水源热泵系统与矿井水源热泵系统能耗对比(单位：千瓦时)

项别	太阳能矿井水源热泵系统	矿井水源热泵系统
年耗电量	1,240,763.4	2,924,224.7

Table 3. Emission reduction statistics of solar energy mine water source heat pump system (unit: ton)

表 3. 太阳能矿井水源热泵系统减排统计(单位：吨)

有害物质	CO ₂	SO ₂
减排量	3284.6	24.7

3.2. 热水供应领域

在热水供应领域，太阳能热泵技术同样具有显著的节能减排效果。与传统热水器相比，太阳能热泵热水系统的碳排放量可降低 60%~80%。太阳能热泵系统在热水供应上的应用是一种结合了太阳能和空气能热泵技术的新型热水供应方式。这种系统主要分为两种形式：一种是以空气源热泵作为太阳能系统的辅助加热设备，另一种是利用太阳能热水作为低温热源或将太阳能集热器作为热泵的蒸发器的太阳能热泵系统。光伏直驱 PV/T 双源热泵热水系统，由光伏子和热泵子两个系统组成，光伏直驱可以减少热泵损耗，因为是双源系统，它的工作过程及用料环保，还可以更好地适用于各种复杂工况，在同样工况下比较，光伏直驱 PV/T 双源热泵热水系统比纯光伏组件的平均光电转换效率相对提高 17.53% [10]。

空气能热泵技术，长期以来主要应用于建筑物的采暖空调领域。由于其在节能降耗及环保方面的良好表现，空气能热水供应系统也越来越多地采用热泵设备作为热源。这种系统的优点包括结构简单、安装使用方便，且在卫生热水供应方面具有不可替代的优势。然而，它的一个主要缺点是供热能力和供热性能系数会随着室外气温的降低而降低，因此使用受到环境温度的限制，一般适用于最低温度-10℃以上的地区[11]。

在大型的太阳能中央热水系统中，空气源热泵作为一种理想的辅助加热设备，可以改善在低温环境下制热运行的性能，扩大其使用区域。结合国内外太阳能热泵研究的先进经验，研制出的低温环境中工作的太阳能—热泵中央热水系统，可以最大限度地利用太阳能，解决阴雨天气及冬季环境温度较低时太阳能资源不足的问题，实现全年、全天候供应热水[12]。

关于经济效益方面，虽然具体的分析数据没有提供，但可以推测，由于太阳能是一种可再生能源，其运行成本相对较低，长期来看，这种系统在节能和降低运营成本方面具有明显优势。

总的来说，太阳能热泵热水系统在提高能源利用效率、节能环保以及提供稳定的热水供应方面显示出其独特的优势，是一种具有广泛应用前景的热水供应系统。

3.3. 干燥技术领域

由于早期的干燥行业大量排放温室气体，对大气环境造成严重污染，所以太阳能热泵干燥技术便应运而生。目前我国的太阳能热泵联合干燥系统大多可分为太阳能，热泵独立工作和两者联合工作三种模式，具有较好的集热、节能和干燥效果。太阳能热泵技术大多利用逆卡诺循环的工作原理，从低温热源中吸取热量，加热空气对物料进行干燥。与其他干燥方式相比之前的干燥技术耗能高，且大多都会污染环境，热泵干燥更温和，更容易控制进入干燥室的空气的温度与湿度，并且具有高能源利用率、适用性广、运行成本低、无污染等优点。太阳能是一种可再生的清洁能源，但太阳能具有不稳定性，易受季

节、环境、地理位置、白昼变化影响等特点,这给太阳能干燥技术的推广及应用带来了困难[13]。为解决太阳能干燥不稳定的问题,将太阳能与热泵联合组成一种新型干燥方式:太阳能与空气源热泵联合干燥系统,既能克服太阳能不稳定的缺陷,又能实现低温热源的利用。太阳能热泵在干燥领域中扮演着至关重要的角色。其核心优势在于利用太阳能这一可再生能源,为干燥过程提供持续、稳定的热源。在许多地区,太阳能资源丰富,通过太阳能热泵技术,可以高效地收集和利用这些资源,为干燥作业提供必要的热能。

在农业、工业和家庭应用中,太阳能热泵都发挥着重要作用。例如,它可以用于农作物的干燥、食品的脱水、木材的干燥以及工业原料的烘干等。此外,太阳能热泵还可以在无电或电力不稳定地区,为家庭提供安全、可靠的干燥方法,从而保存食物和资源。通过精确控制温度和湿度,太阳能热泵可以有效地提高干燥效率,减少能源消耗,降低对环境的影响。太阳能热泵干燥农产品有很多方面:菌菇类干燥、茶叶干燥、中药材的干燥、太阳能热泵干燥水产品、太阳能热泵干燥烟草、其他如陶瓷胚料、化工、木材的干燥[14]。以突出的地域代表为例有,宁夏地区盛产枸杞,但枸杞的保鲜时间并不长,对它加工干燥再出售是一个很好的方法,对其干燥需要控制干燥速率、干燥温度,否则会浪费产品,使品质降低,使用这个系统可以节能、保证产品质量,节约成本、原料和减少二氧化碳排放[15]。

在距离宁夏较近的新疆辣椒因地理气候优势而品质优良,但传统晒干方法受天气和场地限制,影响品质。为提升效率,研发了一种结合光伏光热技术的太阳能热泵辣椒烘干系统。该系统利用太阳能、电加热棒和空气源热泵供热,优化传送结构,智能控温,确保辣椒均匀烘干,并回收余热,实现清洁能源的高效利用。该太阳能热泵一体式辣椒烘干机的创新设计,融合了太阳能光伏光热收集、空气源热泵和电加热棒的多重干燥手段,并引入了螺旋自堆积式打孔传送装置以及尾气余热回收系统。相较于传统烘干设备,这种清洁且节能的热源加热方法不仅降低了成本和避免了燃烧不充分的问题,还能在实现智能分段控温烘干的过程中,显著提升能源利用效率并减少碳排放。这不仅加快了辣椒干燥的机械化步伐,也促进了农业现代化的提升,实现了环保和节能的双赢[16]。

因此,太阳能热泵在干燥领域的应用具有广阔的前景和重要的价值。由此可见推广应用高效、节能、环保的太阳能热泵技术是干燥产业发展的必然趋势。

3.4. 制冷领域

在制冷领域,将太阳能热泵应用于空调系统。太阳能制冷空调主要有光电转换和光热转换两种方式。光电转换通过电力驱动压缩式制冷,系统虽简单但成本较高;而光热转换直接以热能制冷,成本较低,国内多采用吸收式制冷系统。吸收式制冷与压缩式不同,它不依赖机械功而是热能来实现制冷。吸收式系统热源温度要求不高,适应性强,国际研究热度高。此外,太阳能喷射式制冷系统也逐渐受到关注[17]。可提高制冷效率,减少能源消耗,并对改善环境质量产生积极作用,太阳能热泵把热泵技术和太阳能热利用技术有机结合起来,一方面可以有效降低集热器的板面温度,提高集热器效率。空气源(太阳能)热泵冷暖空调系统,由热泵与溴化锂吸收式制冷机构成,适用于3万平方米小区或200~800平方米大户,提供节能环保的冷暖服务,适合住宅及商住别墅[18]。研究表明,在非寒冷地区即使使用普通平板型集热器,集热器效率也高达60%~80%;另一方面在太阳辐射条件良好的情况下,太阳能热泵加热系统可获得比空气源热泵更高的蒸发温度,从而提高热泵系统的工作性能[19]。

太阳能热泵结合了太阳能和热泵技术的优点。传统的热泵系统利用电力来驱动压缩机进行制冷或加热,而太阳能热泵系统则使用太阳能来提供一部分热量,减少了对电力的需求。这样,整体能效显著提升。通过利用免费、可再生的太阳能,系统可以在制冷模式下实现较高的能效比(EER)或制冷季节性能因子(SEER)。由于太阳能热泵系统部分依赖太阳能,这意味着在阳光充足的条件下,系统的运行成本可以

显著降低。虽然初期安装成本可能较高,但长期来看,由于节省了电力成本,系统的总体运营成本可以大幅度降低。太阳能热泵系统在日照充足的地区表现最佳,但在阳光不足的地方,其效率会有所下降。为了应对这种环境适应性问题,系统通常需要与其他能源来源(如电力或天然气)结合使用,以保证在不适合太阳能采集的条件下仍能正常工作。随着技术进步和制造成本的降低,太阳能热泵在制冷领域的应用前景越来越广阔。政府的补贴政策和环保法规也推动了这一领域的发展。长期来看,太阳能热泵有望成为制冷领域中一种重要的能源解决方案,尤其是在对环保和节能有较高要求的场所。在应用太阳能热泵技术时,通常需要设计综合系统以优化性能。例如,可以结合储热系统、辅助加热或制冷设备来提高系统的稳定性和效率。系统设计的优化对于实现最佳性能和成本效益至关重要。

4. 实施流程步骤及分析

4.1. 实施步骤和流程

1) 系统设计: 太阳能热泵系统主要由能量采集区、能量转换区和能量利用区三部分组成。能量采集区由槽式集热器和热力辅助设备组成,负责收集太阳能。能量转换区由热水热泵主机、水箱组成,负责将收集到的热能转换为可用的热能。能量利用区是热水使用场所的室内部分,包括热水管道、水龙头等。

2) 系统安装: 安装太阳能集热器,确保其能够有效地收集太阳能。安装热泵主机和水箱,确保系统能够进行热能转换。安装室内循环管道和相关配件,确保热能能够有效地传输到使用点。

3) 系统运行: 根据环境温度和太阳辐射强度,调整系统运行模式,以优化性能。在太阳辐射充足时,优先使用太阳能集热器进行供暖。在无太阳辐射或太阳辐射较弱时,使用空气源热泵进行供暖或辅助供暖。

4) 系统监控与维护: 定期检查系统性能,确保所有组件正常运行。监控系统效率,进行必要的维护和调整,以保持最佳性能。

4.2. 关键环节分析

1) 集热效率: 槽式集热器的光热转化效率达到 65%, 对系统性能至关重要。

2) 热泵性能: 热泵的制热效率可达 2.0 以上, 运行费用更低, 与燃气锅炉相比全年可节约 50% 左右燃气用量。

3) 环境适应性: 系统需要能够适应不同的环境温度和太阳辐射强度, 以保证在各种条件下都能高效运行。

4) 控制策略: 系统控制策略需要灵活, 以适应不同的运行条件, 如非供暖季太阳能为土壤补热, 供暖季优先太阳能供暖。

5) 系统集成优化: 系统设计时需要考虑各部件参数之间的相互影响, 进行同步优化, 以避免太阳能利用率低、能源浪费及成本与性能难以平衡的问题。

5. 发展方向

通过了解太阳能热泵技术原理及其应用。我们不能仅关注直接排放, 从而忽略了能源转化带来的中间排放范围问题。当太阳能转化为其他能源时, 技术的落后可能产生其他的碳排放, 太阳能热泵的寿命和使用率也会对碳排放产生影响, 从而引发潜在的碳足迹问题。但在总体上, 太阳能热泵的使用对减少二氧化碳排放做出了贡献。随着可再生能源的推广及应用, 化石燃料的消耗将逐渐减少, 这不仅可以降低碳排放, 且有助于减少空气污染和保护环境。化石燃料的有限性和潜在的环境问题使得全球的能量供应面临挑战。我们需采取综合性策略和创新性技术优化太阳能热泵的利用方法, 降低其碳足迹。通过提

高太阳能热泵的效率、普及率，并对其技术进行创新，从而实现低碳环保和可持续的能源未来。虽然太阳能热泵技术在降低碳排放方面具有巨大潜力，但目前仍存在问题，例如系统成本较高、太阳能资源不稳定等。未来研究可从以下几个方面展开：

- 1) 优化太阳能热泵系统设计，提高系统性能、能效和可靠性。
- 2) 研究新型太阳能热泵技术，如复合能源太阳能热泵、热化学太阳能热泵等。
- 3) 探讨太阳能热泵技术在其他领域的应用，如农业烘干、工业用热等。
- 4) 加强政策支持和产学研合作，推动太阳能热泵技术的产业化发展。
- 5) 加强政策引导，制定相关扶持政策，鼓励企业和个人使用太阳能热泵。
- 6) 加强宣传教育，提高公众对太阳能热泵的认知和接受程度。

关注到外在因素后，还需要研究其内在因素，如太阳能热泵的维护成本。其具体原因取决于多种因素，系统设计：设计良好的系统可能更耐用，维护需求较低。相反，设计不当的系统可能会导致更高的维护成本。首先是提高安装质量：高质量的安装可以减少系统故障和维修的需要，从而降低长期维护成本。其次是使用频率：频繁使用的系统可能需要更频繁的检查和维护。还有气候条件：恶劣的气候条件(如极端温度、多风、沙尘等)可能会加速系统部件的磨损，从而增加维护成本。在长年累月的使用中，维护服务显得相当重要。维护服务的费用因地区而异，专业服务可能会更昂贵，但通常能提供更好的维护效果。以下几点可为其维护提供参考：

- 1) 定期检查集热器、管道、阀门和连接件，确保没有泄漏或损坏。
- 2) 清洁集热器表面，保持其较高的热吸收效率。
- 3) 检查和清洁热泵的散热器和风扇，以确保良好的空气流通。
- 4) 检查制冷剂的水平和压力，必要时进行补充或更换。
- 5) 检查电气连接和控制系统，确保系统正常运行。

在未来的发展中还可以使用智能技术进行辅助，人工智能技术的快速发展正推动能源领域的革新，特别是在提升直膨式太阳能热泵(DX-SAHP)系统的效率方面。AI 在 DX-SAHP 系统中的应用关键在于：它能分析气象和建筑能耗数据，利用机器学习预测太阳能资源和热需求，从而智能调节系统以最大化能源利用效率，适应不同的天气状况[20]。

总体而言，太阳能热泵的维护成本通常低于传统的燃油或电加热系统，因为它的机械部件较少，且利用了免费的太阳能资源。然而，初始安装成本可能较高，但可以通过长期的能源节省和维护成本的降低来补偿。

6. 结论

太阳能热泵技术利用太阳能作为热源，通过热泵循环高效地转换和传递热量，这一技术不仅包括直接膨胀式和间接膨胀式两种主要工作模式，而且在实际应用中展现出显著的节能减排效果。直接膨胀式系统因其结构简单而受到关注，但存在性能不稳定的问题；而间接膨胀式系统通过中间介质连接集热器和热泵蒸发器，提高了系统的稳定性和效率。在建筑供暖、热水供应、干燥技术和制冷等多个领域，太阳能热泵技术已证明能够大幅减少传统能源消耗，例如在建筑供暖领域，一次能源节约率可达 72%，在热水供应领域则能减排 60%~80%的碳排放。本文不仅深入分析了技术的减排潜力，还提出了政策建议，包括加强政策支持和产学研合作，以及提高公众认知度，为未来的研究方向提供了指导。这些努力有望推动太阳能热泵技术的广泛应用，为实现我国碳中和目标和可持续能源未来作出重要贡献。

基金项目

北方民族大学大学生创新训练项目(2024-XJ-HG-053)。

参考文献

- [1] 李孜绪, 刘媛媛, 徐胜利, 等. 基于太阳能技术的热泵供热系统研究进展[J]. 热能动力工程, 2024, 39(8): 1-12, 21.
- [2] 徐荣吉, 高强, 杨力伟, 等. 光伏直驱直膨式热泵热水器变转速运行特性实验研究[J]. 建筑科学, 2024, 40(4): 107-115.
- [3] 郑健, 安利娟, 王连平, 冯丽敏, 薛慧, 苏道帅. 直膨式太阳能热泵系统的设计要点及应用探讨[J]. 洁净与空调技术, 2021(3): 92-93.
- [4] 陈彩霞, 曲世琳, 吉玉保. 非直膨式太阳能热泵系统优化设计研究[C]//中国城市科学研究会, 中国建筑节能协会, 中国城科会绿色建筑与节能专业委员会. 城市发展研究——第 7 届国际绿色建筑与建筑节能大会论文集. 2011: 384-388.
- [5] 郑健, 安利娟, 王连平, 等. 直膨式太阳能热泵系统的设计要点及应用探讨[J]. 洁净与空调技术, 2021(3): 92-93.
- [6] 韩强, 刘培陶, 魏翠琴, 等. 供暖季太阳能热泵冷热暖联供系统节能减排分析[J]. 制冷与空调(四川), 2021, 35(6): 884-888.
- [7] 陈勇玲, 吴俊渊, 姚蕾. 太阳能热泵在温汤镇的应用[J]. 中国新技术新产品, 2023(21): 120-122.
- [8] 王昌领. 太阳能-空气源互补的热泵供热系统及其储能特性研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 东南大学, 2023.
- [9] 李胜. 应用正十八烷相变浆体的太阳能热泵性能研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2024.
- [10] 褚磊驰, 赵善国, 高远志, 等. 光伏直驱 PV/T 双源热泵热水系统性能研究[J]. 太阳能学报, 2023, 44(5): 188-194.
- [11] 王诗蒙. 北方农村住宅太阳能与地源热泵联合供暖系统模拟优化研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2020.
- [12] 李亚伦, 李保国, 苏树强, 等. 蓄热型空气式太阳能集热-空气源热泵复合供暖系统在寒冷地区的应用研究[J]. 暖通空调, 2021, 51(2): 101-107.
- [13] 刘世杰, 孙慧敏, 蔡世通. 太阳能热泵联合干燥槟榔果系统设计初探[J]. 南方农机, 2022, 53(21): 29-31, 45.
- [14] 白旭升, 李保国, 朱传辉, 等. 太阳能热泵联合干燥技术在农副产品中应用与展望[J]. 包装与食品机械, 2017, 35(3): 57-61, 69.
- [15] 闫素英, 赵龙, 王群. 太阳能热泵联合系统的枸杞干燥特性与能耗分析[J]. 太阳能学报, 2023, 44(12): 106-112.
- [16] 任甜甜, 黄渊, 邓国威. 太阳能热泵一体式辣椒烘干系统设计[J]. 黑龙江科学, 2023, 14(4): 121-123.
- [17] 赵柏岩. 谈太阳能在我国现代民用建筑中的利用[J]. 工程建设与设计, 2012(4): 100-102.
- [18] 冷雪松. 空气源(太阳能)热泵冷暖两用空调系统[Z]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007-01-01.
- [19] 尹茜, 刘存芳. 太阳能热泵的研究及应用[J]. 节能技术, 2006(3): 236-239.
- [20] 胡宏颢, 黄理浩. 智能技术在直膨式太阳能热泵效能优化中的应用[J]. 集成电路应用, 2024(2): 288-289.