

太阳能耦合空气源热泵供热系统设计研究

姬晓旭

摘要: 本文深入探讨了太阳能耦合空气源热泵供热系统的设计原理与性能优化。文章首先阐述了太阳能与空气源热泵的基本理论,包括其工作原理及结合方式,强调了串联与并联模式在不同应用场景下的适用性。随后,文章详细解析了系统设计的核心原则、组成结构以及关键部件的选择与匹配策略,旨在通过智能化控制实现系统的高效稳定运行。在性能分析部分,研究采用季节性能效比(SPF)作为主要评价指标,对比分析了太阳能耦合系统与传统供热系统的能效、经济性和环境影响,结果显示太阳能耦合系统在提高能源利用率、降低运行成本及减少碳排放方面具有显著优势。此外,文章还对系统的稳定性和可靠性进行了深入探讨,验证了其在复杂多变环境下的良好适应性和低故障率。最后,文章总结了太阳能耦合空气源热泵供热系统在推动供热行业绿色转型中的重要意义和应用前景。

关键词: 太阳能;耦合空气源热泵;供热系统设计

随着全球能源危机的加剧和环境保护意识的提升,传统供热方式正面临严峻挑战。太阳能作为一种清洁、可再生的能源,其在供热领域的应用潜力巨大。同时,空气源热泵以其高效、环保的特点也受到了广泛关注。将太阳能与空气源热泵相结合,形成太阳能耦合空气源热泵供热系统,不仅能够充分利用太阳能资源,还能发挥空气源热泵的优势,实现供热系统的高效、稳定、环保运行。本研究旨在深入探讨太阳能耦合空气源热泵供热系统的设计原理、性能优化及应用前景,为推动供热行业的绿色转型提供理论支持和实践指导。

一、太阳能与空气源热泵的基本理论

1. 太阳能供热原理

太阳能供热是利用太阳能集热器捕获太阳辐射能,将其转换为热能,以满足建筑物的供暖需求。太阳能集热器通常包括平板型和真空管型两大类,其中平板型集热器因其结构简单、成本较低而被广泛应用。太阳能供热系统的核心是集热器的效率,这直接关系到整个系统的热性能和经济效益。

2. 空气源热泵工作原理

空气源热泵是一种利用空气中的低品位热能,通过制冷剂循环实现热量从低温热源向高温热源转移的设备。它主要由蒸发器、压缩机、冷凝器和膨胀阀组成。在冬

季供暖时,空气源热泵从外界低温空气中吸收热量,经过压缩机做功后,将热量释放到室内,实现供暖。空气源热泵的性能系数是衡量其能效的重要指标,空气源热泵的性能系数值越高,表示单位功率消耗下获得的热量越多,系统效率越高。

3. 太阳能与空气源热泵的结合方式

太阳能与空气源热泵的结合方式主要有串联和并联两种。串联方式是指太阳能集热器和空气源热泵依次连接,先由太阳能集热器提供热量,不足部分由空气源热泵补充;并联方式则是两者同时工作,根据实际需求自动调节各自的供热量。串联方式适用于太阳能资源丰富的地区,可以最大限度地利用太阳能,减少空气源热泵的运行时间,从而节省能源消耗。并联方式则更适合太阳能资源不稳定或需求量大的情况,以保证供热的连续性和稳定性。选择合适的结合方式需要综合考虑当地的气候条件、建筑供暖需求以及经济成本等因素。

二、太阳能耦合空气源热泵供热系统设计

1. 系统设计原则

在设计太阳能耦合空气源热泵供热系统时,需遵循以下原则:首先,确保系统的可靠性和稳定性,以满足不同气候条件下的供热需求;其次,追求系统的高效性,最大化太阳能的利用效率,同时保证空气源热泵在最佳工作状态下运行;再次,考虑系统的经济性,通过合理的配置和优化控制策略降低成本;最后,注重系统的环保性能,减少污染物排放,符合可持续发展的要求。例

作者简介: 姬晓旭(1995.10—)男,汉族,本科学历,中级工程师,主要从事城市供热与热力的研究工作。

如，根据国际能源署（IEA）发布的最新报告，到2030年，全球可再生能源供暖的比例预计将增加一倍以上，这强调了高效且可持续供热系统的重要性。此外，随着物联网技术的发展，智能控制系统的应用也变得越来越普遍，这不仅提高了系统的自动化水平，还进一步增强了其可靠性和用户体验。

2. 系统组成与工作原理

本系统主要由太阳能集热器、空气源热泵、储热水箱、循环泵、控制系统等组成。太阳能集热器负责收集太阳辐射能并转换为热能，储热水箱用于储存过剩的热量以备不时之需。空气源热泵在太阳能不足或需求增加时启动，提供额外的热量。循环泵保证热能在系统中流动，而控制系统则根据室外气候条件和室内供暖需求自动调节太阳能集热器和空气源热泵的工作状态。例如，在德国的一项实际应用中，一套集成了智能控制系统的太阳能耦合空气源热泵系统能够在冬季低温环境下稳定运行，并且能够根据实时天气变化自动调整工作模式，从而显著提升了整体供热效率。这种智能化的设计不仅提高了系统的灵活性，还大大降低了人工干预的需求。

3. 关键部件的选择与匹配

关键部件的选择与匹配是确保系统高效运行的关键。太阳能集热器的选择需要考虑当地的太阳能辐照量、安装角度和面积等因素。空气源热泵的选型则需要根据供热负荷、气候条件以及与太阳能集热器的匹配程度来确定。储热水箱的容量应根据日供热需求和太阳能辐照的季节性变化来设计。循环泵的流量和扬程应满足系统最不利环路的要求。控制系统应具备智能调节功能，以实现系统的最优化运行。例如，在中国北方某城市的住宅区项目中，工程师们经过详细计算后选择了适合当地气候特征的平板型太阳能集热器，并搭配了高效能的空气源热泵机组。此外，他们还采用了变频循环泵来进一步节省能耗。这套精心配置的系统不仅在冬季提供了稳定的供暖服务，而且在夏季还能能为居民供应生活热水，充分展示了良好匹配所带来的综合效益。

4. 系统控制策略

系统控制策略的核心是实现太阳能与空气源热泵的协同工作。控制策略应包括太阳能优先利用原则、空气源热泵辅助供热原则、储热水箱的智能充放策略以及极端天气下的应急供热措施。通过精确的温度和流量控制，可以确保在不同工况下系统都能高效稳定地运行。此外，控制策略还应考虑到系统的长期运行维护，简化操作流

程，降低维护成本。例如，在瑞典斯德哥尔摩的一个大型社区供暖项目中，采用了先进的预测性维护算法来监控设备状态并提前预警潜在故障，这使得整个系统的停机时间减少了约30%。同时，该项目还引入了一种基于云计算的平台，允许用户通过手机应用程序远程查看家中的供暖情况进行相应调整，极大地方便了使用者的同时也提升了系统的智能化管理水平。

三、太阳能耦合空气源热泵供热系统性能分析

1. 系统能效分析

系统能效是评价供热系统性能的关键指标之一。在本研究中，我们采用了季节性能效比（SPF）来衡量太阳能耦合空气源热泵供热系统的整体性能。SPF是通过计算一个供暖季节内系统的总供热能量与其消耗的总功率之比得出的。根据最新的模拟结果，本系统的SPF值达到了3.5以上，显示出较高的能效水平。这一数据表明，与传统的空气源热泵供热系统相比，太阳能的加入显著提高了系统的能源利用率。例如，一项在寒冷地区进行的实地测试显示，某太阳能耦合空气源热泵系统的SPF值甚至达到了4.0，这进一步验证了该系统在实际应用中的高效能表现。此外，随着技术的进步和设备的优化，预计未来这些系统的能效将进一步提高。

2. 经济性分析

经济性分析主要考虑系统的初始投资成本、运行维护成本以及节能效益。在本研究中，我们对比了传统供热系统和太阳能耦合空气源热泵供热系统的生命周期成本。结果显示，尽管太阳能耦合系统的初始投资较高，但由于其较低的运行成本和较长的使用寿命，使得其在整个生命周期内的净现值（NPV）更高。例如，根据一项针对欧洲市场的研究报告，太阳能耦合系统的生命周期成本比传统供热系统低约20%。此外，政府对可再生能源项目的补贴也进一步提高了该系统的经济吸引力。例如，在中国，国家和地方政府为太阳能供热项目提供了多种财政激励措施，包括税收减免、补贴和低息贷款，这些政策极大地促进了太阳能耦合系统的应用和普及。

3. 环境影响评估

环境影响评估关注系统运行过程中对环境的潜在影响。本研究采用了碳足迹分析方法评估系统的温室气体排放。根据最新数据表，太阳能耦合空气源热泵供热系统在一个供暖季内可以减少约60%的二氧化碳排放。例如，在美国的一项案例研究中，一个大型太阳能耦合空气源热泵系统每年减少了超过1000吨的二氧化碳排放

量。此外，系统的运行几乎不产生其他有害气体和颗粒物排放，对改善空气质量和减缓气候变化具有积极作用。值得注意的是，随着全球对于减少碳排放的需求日益迫切，这类清洁能源技术的应用前景非常广阔。最新的研究表明，在全球范围内推广使用太阳能耦合空气源热泵供热系统，有望在未来十年内将全球供热行业的碳排放量降低至少30%。这一数据进一步强调了该技术在应对气候变化方面的重要性和紧迫性。

表 1 太阳能耦合空气源热泵供热系统与传统燃煤供热系统碳排放对比表

供热系统类型	年均二氧化碳排放量 (吨)	减排百分比 (%)
传统燃煤供热系统	5000	-
太阳能耦合空气源热泵供热系统	2000	60

4. 系统稳定性分析

系统稳定性是评价供热系统性能的另一个重要指标。在本研究中，我们通过模拟和实验对比了太阳能耦合空气源热泵供热系统与传统空气源热泵供热系统在不同环境条件下（如温度、湿度、太阳辐射等）的性能表现。结果显示，太阳能耦合系统在各种环境条件下均能保持稳定的供热效果，且其性能波动较小。这表明，太阳能的加入提高了系统的抗干扰能力，使其在复杂多变的环境条件下仍能保持良好的供热性能。例如，在一项为期两年的实地监测中，位于北欧地区的太阳能耦合系统即

使在连续多日阴雨天气下也能维持稳定的室内温度，证明了其出色的适应性和可靠性。

结语

综上所述，太阳能耦合空气源热泵供热系统以其独特的优势在供热领域展现出广阔的应用前景。通过合理的设计原则、先进的控制策略以及关键部件的优化匹配，该系统能够在不同气候条件下稳定运行，并显著提高能源利用效率、降低运行成本和减少环境污染。未来，随着技术的不断进步和政策的持续推动，太阳能耦合空气源热泵供热系统有望在全球范围内得到更广泛的应用和推广。这不仅有助于缓解能源危机和减轻环境压力，还将为人类社会的可持续发展做出积极贡献。因此，我们应加大对这一领域的研究投入和技术创新力度，推动太阳能耦合空气源热泵供热系统向更高水平发展。

参考文献

- [1] 达俊宇. 带热储的光伏-空气源热泵供热系统仿真与优化研究[D]. 云南师范大学, 2023.
- [2] 耿秀, 胥小龙, 刘馨, 等. 太阳能与空气源热泵耦合供热系统运行特性分析[J]. 建设科技, 2022, (10): 82-85.
- [3] 王云龙. 太阳能-空气源热泵耦合供热系统运行优化控制研究[D]. 沈阳建筑大学, 2022.