

# 基于地热能的多热源蓄能耦合系统在供暖产业中的应用研究

## Research on the Application of Multi-heat Source Energy Storage Coupling System Based on Geothermal Energy in the Heating Industry

吴建华 高鹏\* 杨斌 于强 李启东

Jianhua Wu Peng Gao\* Bin Yang Qiang Yu Qidong Li

山东省煤田地质局第四勘探队 中国·山东 潍坊 261200

The Fourth Exploration Team of Shandong Coalfield Geology Bureau, Weifang, Shandong, 261200, China

**摘要:** 基于地热能的多热源蓄能耦合系统是将蓄能技术、地源热泵技术、空气源热泵技术进行有机结合,按照统一的供热指标向末端用户输送供热量,相互弥补各自供热方式的不足,实现多种能源的高效综合利用,满足末端用户的采暖需求。多热源蓄能耦合供暖系统的能源利用率高,可最大程度发挥清洁能源的作用,节能环保效果更佳。

**Abstract:** The multi heat source energy storage coupling system based on geothermal energy is an organic combination of energy storage technology, ground source heat pump technology, and air source heat pump technology, delivering heat supply to end users in accordance with unified heating indicators, mutually compensating for the shortcomings of their respective heating methods, achieving efficient and comprehensive utilization of multiple energy sources, and meeting the heating needs of end users. The multi heat source energy storage coupled heating system has a high energy utilization rate, which can maximize the role of clean energy and achieve better energy-saving and environmental protection effects.

**关键词:** 地热能; 热泵; 蓄能耦合; 供暖; 节能

**Keywords:** geothermal energy; heat pump; energy storage coupling; heating; energy conservation

**DOI:** 10.12346/etr.v5i3.7776

## 1 引言

随着全球环境污染加剧以及国家双碳目标的提出,地热能作为一种绿色低碳、用之不竭的可再生能源越来越受到重视,其开发利用研究吸引了大批的科学工作者。在中国地热能应用也突飞猛进,截至2020年初,中国浅层地热能建筑应用面积约8.41亿平方米,高居世界第一位。在促进新旧动能转换以及助力“双碳”目标的道路上提高低能耗建筑中可再生能源的应用比例无疑是一种有效的手段。在众多的可再生能源中,地热能作为一种清洁能源在较多类型的建筑中有着广泛的应用,地源热泵系统具备效率高、性能好、碳排放低等诸多优点。根据住建部发布的《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》,到2025年全国新增地热能建筑应用面积1亿平方米以上。政策上的支持促进了地源热泵系统的发展,但在实际工程中地源热泵系统存在部分案例达不到

预期的供暖温度的情况,其限制的因素主要是:在应用上常常采用单一的地源热泵作为热源,导致系统受地域及气候影响较大。采用其他辅助热源可以较好地解决这一问题,而相比其他辅助热源形式,空气源热泵设备简单、投资和维护费较低等优点。采用地热能+空气能的耦合互联,通过能源合理配置,多能互补、综合利用,将不同能源的利用率做到最大化,最大限度地实现建筑节能,是供暖领域节能、减排、降霾、减碳的新技术手段,更是改造扩大地热能技术应用领域的重要技术手段,具有十分重要的研究意义。

## 2 中国和其他国家研究和应用现状

地源、空气源耦合热泵系统比单一的土壤源热泵系统运行更加稳定,经济可靠、节能高效,利于土壤源系统在北方地区的应用<sup>[1]</sup>。严寒地区采用地源热泵系统与常规的冷热源

【科技计划】潍坊市科学技术发展计划项目(项目编号:2020ZJ1321);山东省煤田地质局重点科研专项(鲁煤地科字〔2022〕11号)。

【作者简介】吴建华(1981-),男,中国山东泰安人,本科,高级工程师,从事地热能应用研究。

【通信作者】高鹏(1984-),男,中国山东潍坊人,本科,高级工程师,从事地热能应用研究。

系统相比具有较好的节能效益<sup>[2]</sup>。地源、空气源双源热泵系统中,合理确定运行工况,利于系统运行的经济性、可靠性。李慧星等<sup>[3]</sup>学者分析了地源、空气源双源热泵系统的经济性,计算得到该项目冬季可节约电费约1950元。郭海明<sup>[4]</sup>以河北某科技中心为案例,设计了地源-空气源复合热泵系统,计算得到该系统较燃气锅炉年CO<sub>2</sub>减排量为251912kg。地源、空气源双源热泵系统在实际应用中也取得了较好的效果,以辽宁省沈阳市某超低能耗公共建筑为例,该项目采用一大一小两台不同型号的地源、空气源双源热泵<sup>[5]</sup>。冬季供暖时,白天光照充足,满负荷运行空气源热泵以制取全天供暖所需的热量,并储存在相变蓄热水箱中备用;若空气源热泵制取的热量不足以支撑建筑的消耗,则系统转换为地源热泵工况,通过实测数据该系统供水温度稳定在45℃~50℃。除此之外,地源-空气源耦合热泵系统还可以起到均衡土壤温度、提高系统运行的稳定性的作用。温孚凯等人针对滨州海洋馆设计了地源-空气源复合热泵系统,在控制策略上选择夏初和夏末两个时段运行空气源热泵,其余时段运行地源热泵,减少了系统向土壤的释热,该系统静态回收期仅1.49年。

Ilaria Gross等将地源-空气源双源热泵系统安装到位于博洛尼亚的一栋独立式住宅建筑,并搭建相应的地热环路,

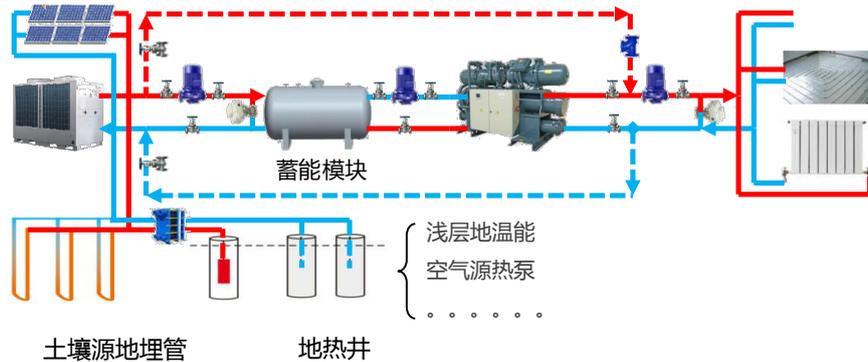


图1 原理图

①开展多热源蓄能耦合供暖系统的理论分析、模拟研究及传热机理研究,通过对低品位的能量来源(地热能、空气能等)的能源梯级变化数据采集、对热泵制热能力的函数变化输入、对热负荷的典型波动曲线的归纳以及对蓄能平台的模块阻尼系数这些可观可测数据的研究,建立实用的多热源蓄能耦合供暖系统模型。

②搭建多热源蓄能耦合供暖系统仿真平台,求解不同室外环境变化、使用端热负荷变化等参数对耦合系统制热性能的影响。

③根据模型模拟多热源蓄能耦合供暖系统工作条件下,不同室外温度下热量的变化规律,探索不同能源形式下系统的最优化配置比,获得多热源蓄能耦合供暖系统的优化设计计算方法。

④开发具有自主知识产权的设计模拟软件,为系统的产

进行了年度动态模拟,证明双源热泵系统是非常有效的,可以很好地解决与地面温度失衡相关的问题。N.Pardo等以某商业建筑物为例,提出了地源-空气源复合热泵、地源热泵和蓄热装置联合运行。该复合系统的运行以耗电量为评价标准,确定最佳的运行模式。Yujin Nam等优化了地源热泵系统,提出利用地下水和空气作为建筑物的冷热源,为了更有效地使用地源热泵系统,根据地下水和室外空气温度条件及建筑负荷来调节运行模式,地下水源热泵系统在较低温度下运行,空气源热泵在较高温度下运行。

### 3 研究内容

本研究结合山东省潍坊市地热资源的分布特点及研发现状,基于全生命周期设计理念,旨在研究一种基于地热能与空气源多能互补的新型供暖系统,实现多种能源在供暖系统的最优配比及联动调控。在多能互补的供暖系统中,由地热能承担基础热负荷,空气源负责调峰和补充,实现能源的充分合理利用,通过增加蓄能模块,把能量蓄存在蓄能模块中可大幅提升热泵的运行效率、运行可靠性和寿命,合理利用峰谷电价差平衡电力负荷,对热量或者冷量进行蓄存,实现夜间谷电蓄热、白天高峰时段放热,可有效解决热能供需失衡问题,大幅降低系统的运行费用。图1为原理图。

业化应用提供实用计算工具。

⑤分析系统最佳运行参数,开展多热源蓄能耦合供暖系统控制策略研究,通过示范工程的验证,优化修正系统运行控制策略,形成技术导则,用以指导研究成果的产业化应用。

### 4 研究方法及技术路线

本项目采用解析分析、数值模拟与工程应用相结合的方法对多热源蓄能耦合供暖系统展开研究。一方面,建立较为精确的多热源蓄能耦合供暖系统模型,通过模型开展耦合供暖系统的理论分析,并提出合理的供暖系统设计计算方法。另一方面,进行多热源蓄能耦合供暖系统施工技术开发,通过在示范工程的验证,推动该项技术的推广应用。具体技术路线如下:

①建立多热源蓄能耦合供暖系统计算机模型。

②根据模型搭建系统仿真平台，模拟多热源蓄能耦合供暖系统工作条件下，不同室外温度下蓄热量的变化规律，探索不同系统形式下多热源蓄能耦合供暖系统的最优化配置，以及通过改变地源热泵承担系统负荷的大小研究不同负荷条件下地下温度场的变化规律，获得多热源蓄能耦合供暖系统的优化设计计算方法。

③寻求系统的最佳运行控制策略；进行多热源蓄能复合系统的综合性能及经济性分析。

④建立多热源蓄能耦合供暖系统示范工程，通过示范工程实践应用验证系统仿真平台、系统控制策略的正确性，推动仿真平台、控制策略的改进和产业化推广应用。

图2为技术路线图。

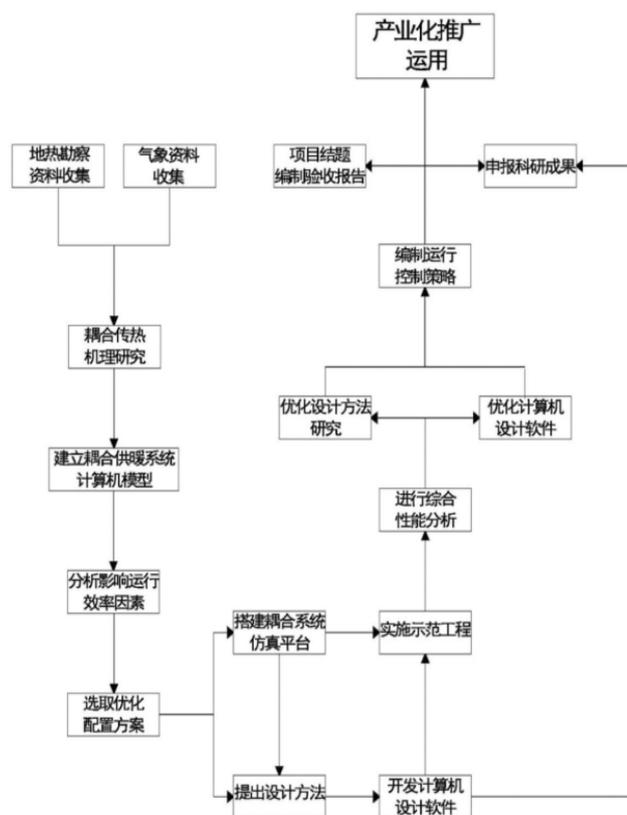


图2 技术路线图

## 5 市场前景分析

调研数据显示，目前地热能应用中，尤其是浅层地温能应用项目中，有1/3强的项目沦为彻底的失败案例，1/3的项目勉强维持运行，具备节能效果的项目仅仅占比1/3，给

地热能技术的推广造成极大的负面影响。诸如潍坊部分地区失败案例众多，导致老百姓已经彻底不再购买采用地源热泵技术的住宅，严重造成了地源热泵技术发展的瓶颈，极大影响了浅层地温能技术的应用推广。以上失败的项目案例，大都因为未能科学合理地利用地热能技术，导致供暖温度不达标造成的。

本项目的研究成果扩大了地热能技术的应用领域，提高能源供需协调能力，推动能源清洁生产和就近消纳，重点解决现有供热系统能源使用结构单一、运行费用高、环境污染严重等问题，提高供热系统的安全性、稳定性及经济性，对于建设清洁低碳、安全高效现代能源体系具有重要的现实意义和深远的战略意义。项目的实施对促进潍坊地区地热与供暖行业结构调整、培育壮大新的经济增长点、提升产业竞争能力具有较大意义，对推广地热能开发、解决就业劳动力，以及辐射带动潍坊及周边地区热泵企业、空调设备企业、PE管材企业等上下游企业的发展，促进新型城镇化建设与生态文明建设，具有极大的促进作用。

## 6 结语

基于地热能的多热源蓄能耦合供暖系统可弥补不同能源间的缺点，通过能源合理配置，将不同能源的利用率做到最大化，能够充分发挥地热能能在节能降耗中的积极作用。当前，中国城市供热需求与日俱增，环境压力持续加大，化石能源与可再生能源稳定性之间的矛盾日益加剧，为了化解这些矛盾，多种能源协同互补成为供暖的新趋势。在有效降低系统运营成本、平衡投资支出等方面具有独特的优势。基于地热能的多热源供暖系统，能更好地解决城市供热增量问题，实现经济、生态、民生共赢，最终获得可持续发展的经济效益和环境效益，必将成为供暖系统的主要应用模式。

## 参考文献

- [1] 张兵兵,刘桂义,魏建平,等.空气-土壤源双热源复合热泵性能分析[J].建筑热能通风空调,2018,37(7):11-14+57.
- [2] 钱程,徐伟.严寒地区土壤源热泵系统的运行性能分析[J].建筑科学,2008,24(12):77-80.
- [3] 李慧星,张然,冯国会,等.严寒地区某超低能耗建筑暖通空调节能系统分析[J].建筑科学,2016,32(4):6-9.
- [4] 郭海明.土壤源-空气源复合式热泵系统[J].中国煤炭地质,2021,33(10):107-111.
- [5] 冯国会,赵佳绩,黄凯良.某超低能耗建筑地源热泵夏季运行的调试与运行问题分析[J].建筑科学,2020,36(6):50-55.