

Heating Technology and Applications Based on Multi-energy Thermal Coupling

Qingcheng Miao Yadong Wang Jibin Liu Bin Yu

Order Group Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276000, China

Abstract

Aiming at the heating problem in winter in rural areas in northern China, a multi-energy thermal coupling heating system combining solar energy, biomass energy and electric energy is proposed. Select 53.54 square meters of typical dwellings in rural areas as a research object, design a more energy coupling heating system, introduces the composition of the heating system, the selection of equipment model, including solar collector, biomass boiler and electric heating pipeline equipment optimization selection and configuration, and through the intelligent control system to achieve energy efficiency. This study provides theoretical and technical support for the application of multi-energy thermal coupling technology in the field of heating, and is of great significance for promoting the energy transition and realizing sustainable development.

Keywords

multi-energy thermal coupling; design of heating system; control strategy

基于多能热耦合的供暖技术及应用

苗庆成 王亚东 刘纪彬 于滨

奥德集团有限公司, 中国·山东 临沂 276000

摘要

针对北方农村地区冬季的供暖问题, 提出一种结合太阳能、生物质能和电能的多能热耦合供暖系统。选取53.54m²的农村地区典型民居作为研究对象, 设计一种多能源耦合供暖系统, 介绍了供暖系统的组成、设备型号的选择, 包括太阳能集热器、生物质锅炉和电加热管道等设备的优化选择和配置, 并通过智能控制系统实现能源的高效配合使用。本研究为多能热耦合技术在供暖领域的应用提供了理论和技术支持, 对促进能源转型和实现可持续发展有着重要意义。

关键词

多能热耦合; 供暖系统设计; 控制策略

1 引言

随着国家“双碳”战略的出台, 农村建筑能源的低碳转型是势在必行的。供暖行业也积极响应国家政策, 推出了一系列“煤改电”“太阳能采暖系统”“多能热耦合”等措施用以改进清洁能源的供暖方式, 逐步在农村地区得到了广泛应用^[1]。在中国的北方地区, 有着丰富的自然资源可以进行利用, 如太阳能、生物质能资源以及空气源热泵等, 在农村地区, 采用多能热耦合供暖系统可以有效地利用这些能源, 可以很好地达到节约能源和环保的目标^[2]。可由于工作设备选择的不同、运行模式的不适及操作复杂等问题, 使得不同能源之间不能相互配合, 导致了冬季供暖成本上升

及室内温度舒适度大幅度降低等问题^[3]。在冬季农村地区充分利用太阳能和生物质能资源等多种可再生资源, 开发适宜的供暖系统^[4]。孙志鹏^[5]等人研究了一种结合太阳能储能、生物质能和空气源热泵的供暖系统, 该系统针对农村家庭设计, 并通过优化系统的运行控制策略, 以最小化年度运行成本为目标进行调整。赵沁童^[6]等人则探讨了一种适用于寒冷地区的多能互补热泵系统, 该系统集成了太阳能、生物质能、空气热能和电能, 旨在克服空气源热泵在低温环境下效率低下的问题。论文基于以上研究内容, 探讨了如何通过多能热耦合进行供暖, 实现冬季农村地区冬季供暖的能效提高。

2 系统设计

纵观北方农村地区典型民居居住条件, 民宅大多为单层砖木结构, 总面积约为53.54m²呈南北方向, 高度约为2.95, 屋顶采用120厚的钢筋混凝土, 外墙使用370厚的烧结多孔砖建造, 窗户为单层玻璃的简易钢制窗户, 门则是塑钢材质

【基金项目】山东省科技型中小企业创新能力提升项目(项目编号: 2023TSGC0420)。

【作者简介】苗庆成(1987-), 男, 中国山东临沂人, 本科, 工程师, 从事供热通风及综合能源应用研究。

的玻璃门^[7]。为充分利用北方农村地区丰富的太阳能和生物能资源,将以太阳能集热器为主要热源,并辅以生物质锅炉,弥补夜间或光照不足时的能源缺口。基于以上数据,该综合供暖系统的设计结构包括以下内容。

2.1 太阳能集热器

鉴于北方冬季的严寒天气,选择的太阳能集热器必须具备良好的防冻性能,以确保在低温环境下仍能正常工作,避免因冻损而导致系统失效^[8]。全玻璃真空管式集热器因其出色的保温性能和良好的抗冻能力,被选为供暖系统的主要集热设备。结合北方农村地区的气候特征,对太阳能集热器进行设计,公式(1)为集热器面积计算公式:

$$A = \frac{Q_H F_1}{J_1 \eta (1 - \eta_1)} \quad (1)$$

其中, A 为集热器面积; $F_1=3396.6\text{W}$, 为供暖系统太阳能保证率, 取值 50%; $J_1=22.33\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 为供暖季集热器接收平均辐射量; $\eta=60\%$, 为集热器集热效率; $\eta_1=0.3$, 为管道热损失率。

经过计算得出太阳能集热器的面积应为 15.65m^2 。但实际情况会考虑到多种因素,如天气变化、系统效率等,实际集热器面积会比计算结果大。计划在屋顶设置 6 套全玻璃真空管太阳能集热器,每套覆盖面积为 3.04m^2 ,合计总面积为 18.24m^2 。为了优化集热效率,集热器的倾角基于当地地理位置和太阳高度角进行优化,设定为 -39° ,以确保太阳能集热器能够在一年中大部分时间里以最佳角度接收到太阳光照,从而最大化热能收集。考虑到冬季低温可能导致集热器内部工作流体冻结的问题,选用了乙二醇作为工作流体。乙二醇比热容为 $3.5\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, 具有较低的冰点和较高的比热容,密度为 $1113\text{kg}/\text{m}^3$, 使得其在低温环境下仍能保持流动性,有效防止集热器冻结。通过循环运行,乙二醇能够有效地从集热器中吸收热量并将其传递到蓄热水箱中,为供暖系统提供稳定的热能来源。

2.2 生物质锅炉

生物质锅炉使用成型杨木颗粒燃料,这种燃料来源广泛、燃烧效率高,燃烧热值可以达到 $1257.56\text{kJ}/\text{kg}$,使得生物质锅炉在供暖方面具有很高的能效和经济性。锅炉设计采用 220V 交流电源,功率消耗不超过 5W ,在 $0^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ 温度及相对湿度保持在 85% 以下的环境中运行,在大部分住宅及商业场所中的运行确保其稳定性。输出功率限制在 2200W 以内,配备 10A 内部保险丝,分配功率为:送料系统 500W 、点火系统 1000W 、助燃及送暖风机 500W ,以及水泵 500W 。锅炉可调节火力大小,提供小、中、大三种模式,功率分别为 1kW 、 1.5kW 、 3kW 。助燃风机能自动调节风速,可通过调整风量比例以提高燃烧效率和加热速率。达到预设水温后,锅炉自动转为保火模式以优化热效率并节约燃料。

2.3 电热管加热装置

管状电加热元件具有高热效率和良好的机械强度,同

时也具备耐腐蚀和耐磨损的特性,其内部使用高温电阻丝和紧密填充的氧化镁粉,在工作状态下提供了良好的热效率,确保了优秀的绝缘性和导热性能,使得电热管道加热器能够在不同的应用环境中提供稳定和高效的热能输出。选择 3kW 的电热管道加热器,采用加厚不锈钢钢管作为加热介质。

2.4 蓄热水箱

短期储存需要的蓄热水箱体积标准是每平方米集热器面积需要 $100\text{升}(\text{L}/\text{m}^2)$ 的容积。基于太阳能集热器的总面积为 18.24m^2 ,按此计算标准,所需蓄热水箱的理论体积应为 1.824m^3 。为了提高系统的实际运行效率和考虑到可能的热量损失,将选择将蓄热水箱的实际容积设定为 2m^3 。可以确保供暖系统在太阳能辐射不足时依然能够稳定运行,有效地利用太阳能,提高整个系统的能效比。

2.5 管道管径的选择

在供暖系统中,管径是根据流量所决定的,根据《建筑给水排水设计标准》,可以得到公式(2):

$$q_v = q_{co} A \quad (2)$$

其中, q_v 为集热系统循环流量, L/S ; $q_{co}=0.02\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 为单位面积集热器对应工质流量。

通过计算可以得到 $q_v=0.3648\text{L}/\text{S}$ 。在循环系统的设计中,需要根据循环流量来确定管道的直径,以确保系统的高效运行和减少能源损耗。管径与水流速度之间的关系,可以得到公式(3):

$$D = \sqrt{4q_v / \pi v} \quad (3)$$

其中, D 为管道公称直径, mm ; v 为水流速度, m/s 。

按照《建筑给水排水设计标准》,设计集热系统时选择 25mm 的管道直径,由此得出水流速度为 $0.74\text{m}/\text{s}$ 。可确保了水流以恰当的速度在管道中流动,既保证了热量的高效传输,也避免了过快的水流可能导致的噪声问题和管道磨损。

3 农村民居多能热耦合供暖控制系统设计方案

3.1 多能热耦合供暖控制系统结构

在多能热耦合供暖自动控制系统中,核心控制单元采用下位机 PLC 实时采集供暖设备温度、压力、流量等关键参数。以便上位机能够进行进一步的处理和分析,确保供暖系统的高效和稳定运行。同时,双向通信机制使得系统的调节更加灵活和精确,直接控制集热循环泵、换热循环泵、采暖一次泵、采暖二次泵、生物质循环泵和补水潜水泵在内的各类关键设备。

为了精确监控和控制供暖系统的运行状态,系统在供暖管道、水箱以及生物质锅炉等关键位置安装了温度、压力和液位传感器,通过监测这些数据,系统能够自动调整运行状态,以保证供暖效率和舒适度。图 1 为多能热耦合供暖系统测点布置图,其中红色传感器为温度传感器;蓝色传感器

为超声波流量计。

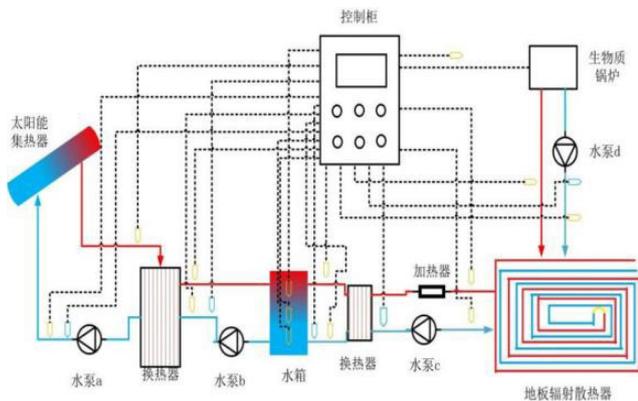


图1 多能热耦合供暖系统测点布置图

3.2 多能热耦合供暖控制系统主要功能

多能热耦合供暖控制系统主要功能主要从三个储能方面实现：一是太阳能：当储热水箱的平均温度达到或超过预定的启动温度，太阳能供暖系统便会开启，而当水箱的平均温度降至或低于该启动温度时，太阳能供暖便会停止。二是生物质供暖：当储热水箱温度低于太阳能供暖关闭温度，并且有充足的生物质燃料，生物质供暖系统将被激活，当实际温度超出预设的供暖关闭温度，生物质供暖将停止，防止过度加热。三是电加热供暖：在储热水箱温度低于太阳能供暖停止温度且缺乏生物质燃料的情况下，系统会切换到电加热，确保持续供暖。控制系统的具体控制方案分为以下三个方面：

①数据采集：利用PLC系统实时监控并记录现场各项数据，涵盖太阳能集热器的入口和出口水温、蓄热水箱内不同高度水温、室内温湿度、生物质锅炉的烟气温度、高位水箱的水位，以及太阳能集热、换热及生物质系统的压力和水的流量等重要参数。

多能热耦合供暖控制系统的主控界面，用户可以手动开关设备，直观了解设备的运行状况以及室内环境情况和管道中各测量点的温度信息。主界面提供“设置”“结果”和“曲线”等选项，进行参数调整或查看测试数据。

②智能适应性切换：供暖系统根据环境和需求自动调整能源使用和运行模式，实现高效节能的效果。通过监测外

部环境和内部需求，系统分析数据后优选能源，调节设备运行状态。比如对太阳能集热器、高位水箱、太阳能供暖、生物质供暖和电供暖等进行适应性调控，实现多能热耦合供暖系统的正常工作状态。

③监控与运行：对于系统状态的实时跟踪和管理，确保系统可以高效、稳定运行。通过安装在关键位置的传感器收集温度、湿度、流量等信息。基于分析结果，系统调整运行参数，以适应当前需求和环境条件。同时也包括故障检测和报警功能，一旦发现异常，能迅速响应，采取措施，减少故障影响。整个过程实现了对系统的全面控制和智能管理，提升了运行效率和可靠性。

4 结语

针对北方农村地区冬季供暖问题，提出一种集成太阳能、生物质能和电能的多能热耦合供暖系统。通过详细设计和优化，系统实现了高效、可持续的能源利用。智能控制系统的引入，使得供暖设备能够根据实时环境和需求自动调整运行模式，优化能源使用，避免浪费。并设立监控软件对设备进行参数设置、监控等工作。本研究对促进农村地区的能源转型和实现可持续发展提供参考。

参考文献

- [1] 郭宏伟,王宇,高文学,等.寒冷地区空气源热泵耦合太阳能集热器系统供暖季运行能效评价[J].建筑科学,2018(8).
- [2] 郭琪,郭健翔,赵向明.北方独立民居太阳能-空气源热泵耦合供热系统瞬态模拟与优化研究[J].青岛理工大学学报,2019(3).
- [3] 冯国会,刘家森,李旭林,等.可再生能源供热系统在农村建筑的应用研究[J].节能,2019(11).
- [4] 冯国会,李源,李旭林,等.农村住宅多能互补供暖技术适宜性分析——以沈阳为例[J].节能,2021(6).
- [5] 孙志鹏.基于TRNSYS的北方农村地区多能源互补系统优化设计[J].节能技术,2021,39(2):173-177.
- [6] 赵沁童.寒冷地区多能互补热泵系统的性能实验研究[D].兰州:兰州理工大学,2013.
- [7] 任玉成,王蒙,马强,等.典型农村民居多能互补供暖系统控制策略研究[J].资源信息与工程,2023,38(6):115-120.
- [8] 张华玲,牛高攀.华北地区农宅清洁供暖激励政策比对分析[J].制冷与空调,2021(5).