

# 中深层地埋管地源热泵复合热源系统优化研究

卫 魏 余沅恒\* 郭傲辉 白 军

西藏农牧学院 水利土木工程学院 西藏林芝 860000

**摘 要:** 随着能源危机与环境问题的日趋严峻,中深层地埋管地源热泵复合热源系统的研发与应用对于实现节能减排具有重要意义。因此,对地源热泵系统进行优化设计,提升其能量效率,是降低建筑能源消耗、减少温室气体排放的关键。通过地埋管换热效率、优化复合热源协同控制策略、开发高效的系统能效比优化算法以及构建智能化运维管理平台等措施,可以实现能源效率与稳定性的有效提升,减少建筑能耗与碳排放,这对于缓解我国的能源危机、提高环境品质、促进绿色建筑、促进可持续发展具有重要意义。

**关键词:** 中深层;地埋管;地源热泵;复合热源;系统优化

## 引言

随着全球对可再生能源的重视,地源热泵系统因其高效、环保的特性,引起了人们的重视。但传统地源热泵系统普遍存在换热效率低、能量效率低、运行维护和管理困难等问题。为此,文章旨在通过技术创新与系统集成,提升我国中深层地埋管地源热泵复合热源系统整体性能,促进我国能源的高效利用与环境可持续发展。在未来的发展过程中,伴随着我国能源政策的逐步完善,中深层地埋管地源热泵复合热源系统将会有更加广泛的应用前景。

## 1. 中深层地埋管地源热泵系统基础

### 1.1 系统构成与工作原理

中深层地埋管地源热泵系统是现代绿色建筑节能的核心技术,其系统构成复杂、精密。该系统由地埋管换热器、热泵机组、循环泵、控制系统及用户端终端组成<sup>[1]</sup>。地埋管换热器作为地下土壤热交换的核心部件,其埋地深度一般可达数十至数百米,为充分利用其稳定的地

下温度特性。热泵系统是利用地下管道中的低品位热能,将其转换成高质量的热能供给建筑物。循环泵驱动循环介质在系统内流动,保证了热能的连续转移。该控制器对整个系统进行智能化调整,以保证系统的高效、稳定运行。

地埋管地源热泵系统以热力学第二定律为基础,采用热泵技术实现热能传输,而非直接发电。在冬季,利用热泵系统吸收地下的热能,提高建筑的温度;在夏季,利用热泵将建筑物内部的热能输送至地下,从而达到冷却效果。地下土壤作为热源或冷源,因其温度稳定、可再生性好,具有节能降耗、环境友好的特点<sup>[2]</sup>。

### 1.2 复合热源系统概述

复合热源系统,作为中深层地埋管地源热泵系统的重要组成部分,其设计理念在于通过集成多种热源形式,实现能源的高效利用与互补。该系统既以地下稳定的土壤温度为主要热源,又巧妙地将太阳能、空气能等可再生能源有机结合,构成多样化、智能化的能源供给体系。据国内外研究表明,采用复合热源系统可显著提升热泵系统的整体能效,降低运行成本,降低对传统能源的依赖,具有显著的经济与环保效益。

复合热源系统的成功应用依赖于先进的控制策略和算法支持。通过引入智能控制系统,实现对各热源运行状态及环境参数的实时监控,并对各热源的性能比例进行动态调整,保证系统始终处于最优状态。另外,该系统还具备故障诊断、远程监控与维修等功能,大大提高了系统的可靠性与维护效率<sup>[3]</sup>。

### 1.3 关键技术特点分析

中深层地埋管地源热泵复合热源系统的关键技术特

## 项目基金:

- 西藏自治区自然科学基金,2024 项目编号: XZ202401ZR0075
- 2024年西藏农牧学院大学生创新创业实训项目 SK009
- 华中科技大学煤燃烧国家重点实验室开放基金 项目编号: FSKLCCA2113

**通讯作者简介:** 余沅恒(2004.02),男,本科生,汉族,西藏农牧学院能源与动力工程专业23级本科生,研究方向为热能与动力工程、流体动力机械。

点,主要体现在其高效换热、多能互补及智能化控制等方面。首先,地理管换热效率作为系统的核心,其传热效率将直接影响到整个系统的能源效率。在此基础上,引入纳米流体等新型换热介质,利用其优异的导热性能,进一步提升换热效率,达到节能降耗的目的。

复合热源系统的另一关键技术特点是其多能互补性。该系统可将太阳能、空气能等多种可再生能源灵活结合,形成优势互补,提升系统整体稳定性与可靠性。以某实际项目为例,在冬季以地热能为主要热源,辅以太阳能收集系统,实现了一种新型的太阳能发电系统。当日照充足时,太阳能集热系统可向植物提供附加热能,以降低地热能源的消耗量<sup>[4]</sup>。同时,该系统可在夏季切换为制冷模式,利用地热能制冷,实现冷、热联合供冷,大幅提升能源复合利用率。本项目所提出的多能互补设计方法,在降低系统运行成本的同时,显著提高系统的环境友好性。

智能化控制策略是系统优化的关键一环。通过采用先进的传感技术、控制技术 & 数据分析技术,能够实时监测系统的工作状态,并对其进行精确的控制。比如,基于机器学习的预测控制算法,可以根据系统的历史数据以及当前的环境状况,对系统未来的负荷需求进行预测,从而提前对系统的运行状态进行调整。该方法不仅能提高系统响应速度、调整精度,还能减少不必要的能量浪费,使系统达到最佳运行状态。另外,智能维护管理平台的开发,可以方便地对系统进行远程监测、故障诊断与维修,降低运行成本,提升系统运行效率。

## 2. 系统性能评估与优化需求

### 2.1 现有系统性能评估方法

能效比是衡量系统能量转化效率的重要指标,其直接反映了系统的经济、环保性能。特别是COP值较高,说明系统单位电能消耗的热能较多,达到了能源利用率高的目的。

以某实际项目为例,该项目采用传统地源热泵技术后,冬季采暖期COP平均值在3.5左右,虽然比大部分传统采暖方式都要好,但仍有提升空间。采用中深层地理管技术,并与复合热源系统相结合,对系统进行了优化设计,优化后的系统在同等工况下COP最高可达4.2,这一显著提升不仅减少了能源消耗,还大幅降低了运行成本。

为了更加科学地评估该系统的性能,采用了基于热力学第一定律和第二定律的复合评估模型。该模型除考虑系统能效比外,还融入了系统的热效率、能量利用率等参数,全面评估了系统的热力学完备度及能量利用率。

通过模型计算,发现优化后的系统热效率提高了约15%,焓效率也实现了显著提升,这进一步验证了优化方案的有效性。

### 2.2 存在的问题与挑战

中深层地理管地源热泵复合热源系统在工程实践中面临着诸多难题与挑战。首先,地下管道传热受地质条件、土壤热物性、地下水埋深等多种因素的影响,造成系统性能波动较大。其次,复合热源系统协同控制策略不够完善,缺乏对不同热源间切换与调控的智能化管控,难以使系统整体能效最大化。传统控制方法大多是基于经验或者固定规则,很难适应复杂多变的运行环境。此外,基于能量效率优化算法的研究与应用也面临诸多挑战。目前,多数优化算法仅针对单个目标进行研究,或者对模型进行简约,难以充分考虑系统运行的复杂性。为此,通过采用多目标优化、不确定分析等先进方法,精确刻画系统运行状态,提高优化效果。例如,以遗传算法为基础的多目标优化模型,能有效地支撑系统的优化。最后,建立智能化的运维管理平台是目前最具挑战性的课题之一。传统运行维护方式存在信息孤岛、响应滞后等问题,已很难满足现代能源系统高效、安全、可靠运行的需求。构建智能运维管理平台,集数据采集、分析、预警、调度为一体,能够全面监测系统运行状态,实现精细化管理。

## 3. 优化技术研究与应用

### 3.1 地理管换热效率提升技术

如何提高埋地管线的传热效率,是实现中深层管线路系统性能优化的关键。研究表明,通过优化设计参数及材料,可有效提高埋地管道换热效果。例如,采用具有高导热系数的HDPE管材,其导热系数较传统管材可提高20%左右,有效缩短换热时间,提升整体能源效率。另外,管道直径与开挖深度之间的合理匹配对提高换热效率具有重要意义。

为进一步验证并优化埋地管道换热效果,通过采用数值模拟与实验验证相结合的方法。通过建立三维地下热传导模型,模拟不同地质条件、管径、深度、流速等条件下的换热规律,为优化设计提供理论基础。同时,选择典型地质区开展试验,开展实地测试与数据收集,对模拟结果进行验证。

在具体实施过程中,还创新性地提出了“动态调节换热模式”的概念。即为实现地下热资源的最大化利用,可根据环境温度、荷载需求及地下热场的变化,自动调节管内流体的流量与温度。该方法已在某大型工程中得

到成功应用,采用动态自适应换热模式可使地下管道换热效率提高25%左右,并大幅降低运行成本。

### 3.2 复合热源协同控制策略

在中深层管道热泵系统优化设计中,复合热源协同控制策略是关键,其目的是通过对各热源的智能控制,使系统整体能效最大化。特别是,该策略整合了先进的传感器网络、大数据分析技术和智能控制算法,实时监测环境温度、土壤热性质和热泵机组运行状态等多维数据,动态调整地下管式换热器、辅助热源(如太阳能、空气能等)和热泵机组的运行参数。

此外,复合热源协同控制策略的实施也促进了工厂智能运维管理的提高。通过建立智能运维管理平台,实现了对系统运行状态的远程监测、故障诊断与预测维修。平台通过整合大数据分析功能,深入挖掘系统运行数据中的潜在价值,为系统优化提供有力支撑。

### 3.3 系统能效比优化算法

在系统能效比优化算法方面,将数学模型与智能算法相结合,对地源热泵系统进行能效优化。具体而言,采用遗传算法与粒子群算法相结合的方法,实现全局与局部搜索功能的有效平衡,避免陷入局部极值。在此基础上,以系统能效比作为优化目标,实现对槽道深度、管径、换热器流量、复合热源等系统运行参数的自动调节。

针对系统复杂多变、不确定性较大的问题,引入模糊控制理论,对环境温度、土壤热物性等难以量化的因素进行研究。通过建立模糊规则库,使算法能够根据实际工况动态调整控制策略,保证系统在各种工况下都能保持能量效率。此外,引入机器学习技术来深入挖掘系统运行数据,以发现潜在的能效改进点,并为算法的持续优化提供数据支持。

系统能量效率优化算法充分利用工厂生产过程的各类信息,达到准确控制系统能量效率的目的。随着大数据、人工智能等技术的不断发展,优化系统能量效率的算法将被越来越多的应用到各个领域,对推动我国能源高效利用与可持续发展具有重要意义。

### 3.4 智能化运维管理平台开发

优化智能化运营管理平台是解决中深层管道热泵复合热源系统优化问题的关键。该平台综合运用大数据分析、云计算、物联网等先进技术,对整个系统运行过程进行全面监测与智能化规划。通过实时获取埋地管线温度、流量、压力等关键参数,结合历史、气象等信息,

利用先进的预测模型,对系统运行状态进行预警,从而提高系统运行的稳定性和可靠性。

具体而言,智能化运维管理平台利用传感器网络实现对系统各方面信息的准确感知。以某大型商业建筑为例,该平台在投入运行后,使系统的维修响应时间缩短了30%,故障发生率降低了20%。同时,平台还具备强大的数据分析能力,能够基于海量数据,运用机器学习算法,不断优化系统运行策略,提高能效比。

另外,智能化运维管理平台为操作人员和维修人员提供了方便的远程管理功能。这不但减少了操作及维修费用,而且也提高了生产效率。平台开发的重点是用户体验与界面设计。由于界面清晰、直观,数据可视化显示,业余爱好者可轻松快速地开始记录系统操作状况。同时,该平台还具有很强的可扩充性,可根据不同项目的实际需要,灵活地定制开发,以适应不同的应用场景。

### 结束语

综上所述,未来,中深层埋管地源热泵复合热源系统的发展将呈现出几个显著趋势。首先,随着材料科学的进步,新型高效换热材料的应用将极大提升埋管的换热效率。其次,智能化与物联网技术的深度融合将是该系统未来发展的另一大亮点。通过构建智能化运维管理平台,实现对系统运行状态的实时监测、故障预警和远程调控,将显著提升系统的运维效率和可靠性。最后,未来中深层埋管地源热泵复合热源系统的发展还将受到政策环境的深刻影响。各国政府为应对气候变化和推动能源转型,纷纷出台了一系列鼓励可再生能源应用的政策措施。地源热泵系统作为绿色能源的重要组成部分,其发展前景广阔,值得大家共同期待和努力。

### 参考文献

- [1]董世豪,王皓,于岳龙,李炳学,Risto Kosonen,倪龙.中深层埋管地源热泵复合热源系统优化研究[J].制冷与空调,2024,24(08):82-88.
- [2]王志松.某民用建筑地源热泵配电方案对比分析[J].智能建筑电气技术,2024,18(04):40-46.
- [3]屈高阳,李佳.埋管地源热泵技术在大型公共建筑群的应用研究[J].中国设备工程,2024,(10):205-207.
- [4]韩冰.地源热泵在建筑工程中的应用分析[J].房地产世界,2024,(10):170-172.