

Analysis of Heat Balance Issues and Solutions in Ground Source Heat Pump Systems

Xia Chen

Langfang Huasheng Architectural Design Co., Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract

Ground source heat pump systems can optimize the application of underground energy storage, which is a clean energy source and plays an important role in ecological and environmental protection. However, during the operation of such systems, heat balance issues may arise due to uneven winter and summer loads, unreasonable system design, improper operation, and other reasons, which in severe cases may shorten the service life of the ground source heat pump system. Therefore, it is necessary to optimize solutions for heat balance issues based on actual conditions, such as adding auxiliary equipment, balancing winter and summer loads, and improving the spacing of buried pipes, thereby effectively enhancing the operational efficiency of the ground source heat pump system. This article mainly analyzes the causes of heat balance issues in ground source heat pump systems and proposes targeted and feasible countermeasures to fully leverage the system's value, effectively improve the ecological environment, and enhance environmental protection effects.

Keywords

ground source heat pump system; heat imbalance problem; solution strategy

浅析地源热泵系统的热失衡问题及解决策略

陈侠

廊坊市华晟建筑设计有限公司, 中国·河北 廊坊 065000

摘要

地源热泵系统能够对地下储能进行优化应用, 地热能是一种清洁能源, 在生态环境保护中发挥重要作用。但是该系统运行中, 会因为冬夏负荷不均、系统设计不合理、运行不当等原因, 导致地源热泵系统出现热失衡问题, 严重情况还会缩短地源热泵系统的生命周期。因此要结合实际情况, 优化解决系统热失衡问题, 如增加辅助设备、平衡冬夏季负荷、完善埋地管间距等, 从而有效提升地源热泵系统运行效率。文章主要对地源热泵系统的热失衡原因进行分析, 并提出针对性、可行性的应对措施, 从而充分发挥系统价值作用, 有效改善生态环境, 促进环保效果的提升。

关键词

地源热泵系统; 热失衡问题; 解决策略

1 引言

地源热泵技术属于节能环保制冷制热空调技术, 主要是利用地下岩土体作为低位热源, 然后利用埋地管换热系统、建筑物内系统协同构成热泵空调系统, 以便对浅层地热进行优化应用, 强化环保效益。其中, 系统设计不当、埋地管间距不合理、冷热负荷不均衡等因素, 会引起地源热泵系统热失衡问题。热失衡问题会降低整体系统性能, 且缩短设备寿命, 改变土壤热物性, 加大成本支出。针对这种情况, 需要结合实际情况, 采取科学合理的解决措施, 有效提升换热器效率, 保障地源热泵系统的高效运行, 满足建筑供热需求。

【作者简介】陈侠(1992-), 女, 中国河北廊坊人, 本科, 从事地源热泵系统的热失衡研究。

2 地源热泵系统热失衡问题的成因分析

2.1 自然地理条件与建筑负荷特性不匹配

不同地区土壤导热系数不均匀, 如黏土与砂土混合地层, 容易引发局部热堆积或者热量流失, 致使埋地管换热效率参差不齐, 降低整体系统的平衡性。此外, 在寒冷地区, 建筑冬季供暖需求远远超过夏季制冷需求, 埋地管换热器持续从地下取热, 而夏季向地下排放的热量不足以补偿, 导致地下温度逐年降低^[1]。相反, 在夏热冬暖地区, 若建筑以制冷为主且缺乏有效的排热补偿机制, 地下热量不断累积, 可能引发热堆积现象。

2.2 系统设计缺陷

这是引起地源热泵系统热失衡的关键原因之一。在以往系统布设中往往为了节约成本支出, 加大埋地管布置密度, 这种情况容易引起中心温度升高, 进而导致土壤温度场

逐渐恶化,进而降低系统换热率。除了埋管间距过小、深度不足等问题外,还有环路设计不均匀、水泵选型过大、管长计算误差等问题,这些因素都有可能导致系统热失衡,降低系统性能。此外负荷计算偏差,会引起系统设计缺陷,导致热失衡现象;没有设置辅助热源、冷源,如在极端气候条件下,缺乏辅助调峰设备,系统被迫持续从地下取热或排热,会加大热失衡。

2.3 运行管理不当

地源热泵系统的设备结构复杂,一旦集中一个部件出现问题,会影响整体系统的正常运行。如运行策略单一,仅仅使用固定的运行模式,没有根据季节负荷变化调整取热排热比例,会造成一定的资源浪费。此外,若缺乏动态监测与调控机制,没有建立土壤温度监测系统,没有及时发现热失衡趋势并采取干预措施,会致使机组频繁报警停机^[2]。如果运行管理不当,会在一定程度上放大土壤冬夏取放热量的不平衡问题,致使土壤温度较大波动。

2.4 冷热负荷不平衡

中国幅员辽阔,南北跨度大,不同地区的建筑冷热负荷差异较大,容易引起土壤源热泵系统取热、放热难以平衡,如果仅仅使用单一的地源热泵系统难以满足建筑整体的需求。如北方以采暖为主,连续多年冬季取热厚,土壤温度下降,影响夏季制冷效率,这种不平衡现象降低整体系统性能,甚至扰动地下环境平衡。

3 地源热泵系统的热失衡解决策略

3.1 优化系统设计

在地源热泵系统设计中,需要精准计算具体负荷,尤其可以利用动态负荷模拟软件,计算建筑全年的逐时负荷,确保埋管换热设计负荷全年热平衡要求。对于供暖负荷远超过制冷负荷的地区,需要把年排热量设计为年取热量的1.3倍。并在此基础上对埋管进行优化布置,使其与地层特性保持匹配性,且还需要充分考虑区域布管要求,才能有效提升系统效率。未来解决冬夏季热负荷不平衡问题,需要引入辅助冷却装置,或者引入加热装置,构建复合地源热泵系统,以便弥补部分地区冬夏季负荷不平衡的缺陷问题,并减少埋管长度,解决钻井成本。其中常用的辅助装置有:

(1) 太阳能-地源热泵复合系统,寒冷地区设置燃气锅炉、太阳能集热器等辅助热源,在冬季极端低温时分担部分供暖负荷,减少埋管取热量^[3]。其中,太阳能-地源热泵复合系统包含热泵机组、埋管换热系统、太阳能集热系统、建筑物内设备,通过浅层地热、太阳能等进行科学供热。太阳能集热器的热量回灌地下,这样可以有效解决寒冷地区的土壤热失衡问题。而且该装置具有较好的蓄热能力,能够有效解决寒冷地区的冷热平衡问题。(2) 冷却塔-地源热泵复合系统。夏热地区,结合冷却塔或风冷热泵作为辅助冷源,夏季高峰负荷时辅助排热。该系统包含埋管换热系统、冷

却塔散热系统、热泵机组、建筑物内设备等。该系统主要在全年冷负荷超过热负荷的地区,如果夏季冷负荷过大,该系统会承担部分冷负荷,或者利用间歇运行方式进行操作。通过该系统可以维持土壤冷热平衡,且在夏季供冷时采用国内辅助散热设备散去室内多余热量。在实际应用中,要结合机组出水温度来判断是否需要开启或者关闭冷却塔;且要合理选择和控制冷却塔,进而减少埋井数量,节约占用面积,有效控制成本投入。该系统原理如图1所示。

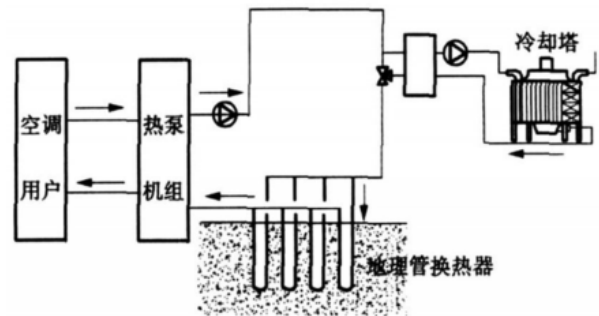


图1 冷却塔-地源热泵复合系统运行原理

3.2 优化埋管设计

在埋管设计中要选择设计的埋管材料,如双U型或小直径高密度聚乙烯,这样能够增加换热面积,降低单位长度换热量,减少局部热扰动。对埋管间距、深度进行优化设计,可以缓解热量堆积,有效控制埋管之间热干扰,方便热量、冷量更好的扩散。但是如果埋管间距过大,会极大地地面占用面积,加大投资,因此要结合实际对埋管间距进行合理设计,充分考量建筑物保温系数、钻孔间距、数量等因素对地源热泵系统的影响,进而选择最佳间距。通常情况下,把埋管间距设置为3-5米最为合适,进而确保恢复土壤温度,减少热量间距,有效提升土壤与埋管之间的换热效率,且还能够避免管群间热干扰^[4]。此外,还需要设置埋管布置形式,进而改善土壤中温度场的分布,确保良好的热量扩散。在具体布置过程中,尽量减少中心区域的埋管数量,并采用外密内疏的方式进行布置,这样能够保障温度场的均匀性,缓解热堆积现象,且能够提高周围温度^[4]。在具体布置过程中,需要考虑土壤因素,如果土壤充足,则可以选择任何布置方式,进而缓解土壤冷热堆积需求;此外还需要综合考虑地形、经济等因素,进而提升布管效果。还可以选择混合式埋管布置方式,如竖直埋管、水平埋管等方式混合应用,进而优化土壤热分布。同时,还需要适当增加埋管埋深,以便保障土壤温度稳定性,有效提升换热能力,进而增加侧出水口温度。

3.3 优化运行策略

在地源热泵系统中采用间歇式运行模式,能够提高传热效率,把土壤升温控制在合理范围内,避免土壤温度持续偏离初始低温,为土壤提供一定的恢复时间。通过这种方式能够提高热泵机组使用效率,缓解土壤热平衡问题,且能够

弥补地下传热缓慢的问题,提高换热效率,有效减少地埋管钻孔数,控制成本投入。间歇运行就是在冷热负荷分布出现较大波动且机组部分负载状态下,对运行方式进行优化设计,进而提高地热资源的利用率,满足机组在任何负荷状态下的运行需求^[5]。例如,夏季中午高负荷时段运行4小时后,停机1小时,让土壤充分自然散热。此外,还可以引进动态负荷调节模式,如冬季要结合室外温度调节供水温度,采用气候补偿技术,降低地埋管取热量;夏季采用夜间通风降温、免费制冷技术,减少地埋管排热量。还可以引进热泵智能控制系统实时调节土壤温度调节运行模式,或者利用人工回灌技术向地层注入废热水源,以便维持地下热平衡。

3.4 热回收利用

在以往的供热模式中,夏季冷负荷超过冬季热负荷的地区往往会利用冷却塔把系统多余热量散发到空气中,这种方式造成严重的能源浪费,因此可以利用热回收利用模式,把系统多余热量回收应用到制造生活热水方面,进而减少能量浪费,节约生活热水能源消耗^[6]。此外还可以通过热回收装置把建筑电梯机房散热、厨房排热等方式将其回收起来然后转移到地埋管系统,进而补充地下热量。

3.5 中深层地埋管换热器技术

随着科学技术的发展,钻井深度逐渐延伸,为中深层地埋管换热器技术的应用创建良好条件。如随着钻井深度增加,深层土壤温度较高,可以适当减少钻井数量,增加钻井距离,有效避免地埋管之间的热干扰,且深层地热储量较大,有效避免热堆积现象^[7]。中深层地热能储能量较大,通过中深层地埋管换热器进行冬季供暖,土壤温度不会发生极端变化,进而防止出现土壤热失衡问题。且该技术具有换热能力强、占用土地面积小的优点,在未来发展中需要保障计算精度,控制钻井成本,才能进一步拓展使用规模。

3.6 技术创新

在实际作业中,要注重技术创新,如建立土壤温度监测系统,如在地埋管群中安装温度传感器等装置,以便对土壤温度变化进行实时监测,一旦监测到土壤温度低于10℃

时,需要自动启动辅助设备,并调整运行模式。此外还需要对物联网技术、BIM技术进行联合应用,构建地源热泵系统数字化平台,以便对机组运行数据、能耗数据、土壤温度数据等进行优化整合,利用大数据分析预测热失衡趋势,以便实现智能调控^[8]。

4 结论

综上所述,地源热泵系统的热失衡问题会影响整体系统的稳定长远运行,针对引起热失衡问题的原因,需要采取科学合理的方式方法进行积极应对,如优化地埋管设计,增加辅助设备,并引进间歇运行模式,对智能化监测技术进行优化应用,并精准负荷计算,进而有效控制土壤温度扰动,促进整体地源热泵系统的安全高效运行,为建筑节能提供更可靠的技术支撑。

参考文献

- [1] 罗登云,田小林,邓裔麒瑞,等. 地埋管地源热泵系统热失衡问题分析[J]. 能源与节能, 2025, (04): 1-3+47.
- [2] 孙其汇. 浅层地源热泵系统土壤冷热失衡原因及解决方法现状分析[J]. 能源与节能, 2025, (01): 51-54.
- [3] 耿德皓. 地源热泵系统土壤热失衡优化方案研究现状[J]. 工程与建设, 2023, 37 (05): 1414-1416.
- [4] 陈佳梅. PV/T耦合地源热泵采暖系统性能与稳定性研究[D]. 西安科技大学, 2023.
- [5] 李昊轩. 缓解地源热泵系统土壤热失衡问题技术现状[J]. 区域供热, 2021, (01): 23-28+37.
- [6] 赵浩. 基于人工神经网络的地源热泵系统土壤热失衡问题研究[D]. 重庆大学, 2020.
- [7] 韩靖,张治菊. 地埋管地源热泵土壤动态热平衡的探讨[C]// 土木建筑学术文库(第15卷). 机械工业第六设计研究院, 2011: 663-665.
- [8] 马福一,刘业凤. 地埋管地源热泵系统的热平衡问题分析[C]// 中国制冷学会(The Chinese Association of Refrigeration). 中国制冷学会2009年学术年会论文集. 上海理工大学能源与动力工程学院, 2009: 893-897.