

埋管地源热泵系统及存在问题分析

陈昌富, 吴晓寒, 王陈栋
(中航勘察设计研究院, 北京 100098)

摘要:在阐明地源热泵系统的基本原理及国内外发展现状的基础上,分析了埋管地源热泵系统在推广宣传、设计施工以及后期管理运行阶段中存在的一些主要问题,最后就在保持埋管地源热泵系统可持续发展的前提提出了几点建议。

关键词:地源热泵;埋管;发展现状;存在问题

中图分类号:TU83;P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)10-0042-03

Analysis on Current Situation and Existing Problems of Closed-loop Ground Source Heat Pump System/CHEN Chang-fu, WU Xiao-han, WANG Chen-dong (AVIC Institute of Geotechnical Engineering, Beijing 100098, China)

Abstract: Based on the basic principle and the current situation of ground source heat pump system at home and abroad, analysis was made on some issues about promotion and publicity, design and construction, and later-stage management of closed-loop ground source heat pump system. And several suggestions were put forward to maintain the sustainable development of this system in the paper.

Key words: ground source heat pump; closed-loop; current situation; existing problem

0 引言

地源热泵(Ground Source Heat Pump)即GSHP技术,是一种利用地下浅层地热资源(也称地能,包括地下水、岩土体或地表水等)的既可供热又可制冷的高效节能空调系统。该系统把浅层岩土体作为热泵系统的热(冷)源或热汇,即在冬季把高于地表环境温度的地层中的热能取出来供给室内采暖,夏季把室内的热能取出来储存到低于地表环境温度的土壤中,通过少量的高位电能输入,实现低位热能向高位热能转移的一种技术。

根据冷热源的不同,地源热泵系统可以分为水源热泵系统与土壤源热泵系统(埋管地源热泵系统)。由于采用地下水或地表水作为热(冷)源的水源热泵系统应用时受到水文地质条件的限制,特别是近年来对水资源政策要求越来越严,其使用进一步受到制约。埋管式地源热泵系统特别是垂直埋管式系统因其节能、环保不受地下水条件的影响,被公认为最具有发展潜力的地源热泵技术。

1 系统的基本原理及特点

埋管式地源热泵系统的工作原理如图1所示,整个系统主要由地下埋管换热器系统、热泵机组和室内末端系统3个相对独立的部分组成,其冬季

供暖工况的工作原理如下。

(1)地下埋管换热器循环系统,较低温度的循环介质从热泵出口流出,通过地下埋管换热器与大地进行热交换,吸收了大地热能使其温度升高,再从换热器流入到热泵入口,由热泵机组内压缩机的蒸发器进行热量交换后温度降低,再从热泵出口流入地下换热器,周而复始,从而达到热泵机组从土壤中取热的目的;

(2)热泵机组循环系统,热泵机组内的工作介质由蒸发器蒸发后变成气体,再由压缩机压缩,经过冷凝器还原成液体,经与室内循环管路工作介质热交换后,放出热量,由调节阀调节后进入蒸发器,再蒸发,如此循环,进行能量交换;

(3)室内末端循环系统,室内循环管路工作介质进入热泵机组的冷凝器进行热交换后,使工作介质升温,再进入风机盘管内,向建筑物内供暖。

3个系统周而复始的循环,从而实现将大地中的热量转移到建筑物内。

制冷工况运行时:工作过程正好相反,只是将热泵机组的冷凝器连接到地下埋管换热器循环管路上,热泵机组冷媒介质放热给地下管路循环介质;将热泵机组的蒸发器连接到室内末端系统上,由热泵机组冷媒介质吸取室内房间的热量。

收稿日期:2009-06-01

作者简介:陈昌富(1965-),男(汉族),湖北钟祥人,中航勘察设计研究院高级工程师、国家注册岩土工程师、监理工程师,岩土工程、管理科学与工程专业,博士,从事岩土工程、管理科学与工程研究工作,北京市2411信箱院办, aigeccf@163.com。

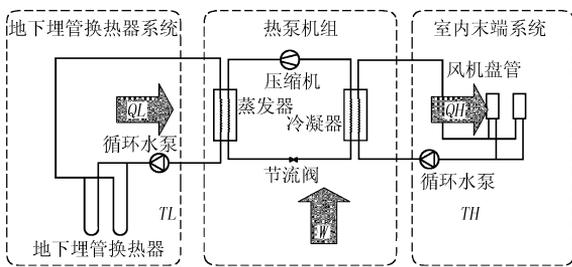


图1 供暖工况下地源热泵系统运行原理示意图

地源热泵系统遵循逆卡诺原理,即从外部供给热泵较小的耗功 W ,同时从低温环境 T_L 中吸收大量的低温热能 Q_L ,热泵就可以输出温度高得多的热能 Q_H ,并送到高温环境 T_H 中去,从而达到将不能直接利用的低温热回收利用起来。对于设计合理的地源热泵系统,热泵消耗的功率 W 远小于输送的热能 Q ,这样就能高效节能的实现供暖/制冷的目的。

地源热泵系统依靠地埋管换热器从地下地层中提取能量,热泵机组的热源都是一定扩散半径范围内的土壤。由于地埋管换热器冬夏两季累计向土壤的放热量与取热量并不一定相等,这样就会造成地下土壤的冷热失衡,取放热量不平衡逐年堆积就会超过土壤自身恢复能力,造成其温度不断偏离初始温度,并导致冷却水温度随之变化和系统运行效率逐年下降。因此在地源热泵系统的设计过程中必须结合其特点,综合考虑当地的地质条件以及建筑物的冷热负荷需求,对于冷热严重不平衡的地区,应根据实际条件为地源热泵系统配备辅助加热器或冷却塔等调峰设施,以保证整体系统长期的运行效果。

2 国内外发展现状

2.1 国外发展现状

地埋管式地源热泵系统在国外的发展最早始于瑞士,1912年瑞士H. Zoelly首次提出利用土壤作为热泵系统低温热源的概念,并申请了专利,但是直到20世纪50年代,Zoelly的专利技术才引起了人们的普遍关注,欧美各国开始了研究地源热泵的第一次高潮。这一阶段的研究方向主要集中在地埋管的试验研究以及地下土壤传热的基础模型上^[1]。

1973年在欧美等国开始的“能源危机”再次激发了人们对地源热泵研究的兴趣和需求,特别是北欧国家如瑞典等。欧洲先后召开了5次大型的地源热泵专题国际学术会议,各种类型的垂直埋管热泵系统在瑞典、德国、瑞士和奥地利等国得到大量的应用。美国也在能源部(DOE)的直接资助下由ORNL(橡树岭)、BNL(布鲁克黑文)等国家实验室和

Okmahom State University大学等研究机构开展了大规模的研究,为地源热泵的推广起到了重要的作用。此时地下埋管已由早期的金属管改为塑料管,这一时期的工作主要集中在研究土壤的导热性能、地下埋管的化学性能、不同形式埋地换热器的传热过程、建立相应的数学模型并进行数值仿真模拟计算等方面。

20世纪90年代末,由于世界各国对能源和环境问题更加重视,热泵技术的应用和发展也进入了一个全新快速发展时期,每年报道的地源热泵实际工程项目和研究报告不断增加。地埋管地源热泵系统研究的热点开始集中在相互耦合的传热、传质模型上,以便更好地分析地下埋管换热器的换热性能。2005年的世界地热大会上对地源热泵系统的开发利用进行了总结,发现近10年的时间里,热泵技术在地温直接利用能量方面的比例由1995年的13%发展到2005年的33.2%,有大约30个国家平均增长速率 $>10\%$ ^[2]。

2.2 国内地埋管地源热泵系统发展现状

从已有的文献报道^[3~7]来看,国内最早的研究开始于1989年:当时山东青岛建筑工程学院在国内建立了第一台地源热泵系统的试验台,主要从事水平埋管的研究工作,而后开始了竖直埋管换热器的研究工作。

1996年天津商学院也开始了地源热泵系统的研究,高祖馄等人在结合国外有关研究的基础上,重点对螺旋盘管埋地换热器作了研究。

华中理工大学从20世纪90年代开始,在国家自然科学基金的资助下,进行水平单管的换热研究,重庆建筑大学的刘宪英等人从1999年开始在国家自然科学基金的资助下进行了浅埋竖直管换热器地源热泵的采暖和供冷特性研究及其浅埋套管模型研究^[8]。

2000年12月,由日本政府无偿援助,日本地热工程株式会社负责,长春市地热开发有限公司和吉林大学参与,在长春完成了一个1000 m²建筑面积的地埋管式地源热泵供暖/制冷示范项目。

另外哈尔滨工业大学、东南大学以及吉林大学还开展了地埋管地源热泵系统与太阳能系统联合运行方面的研究,以弥补单一能源利用上的一些缺点^[9~11]。

3 存在问题

我国的埋管地源热泵系统从起步到高速发展

已经经过了近 20 年的时间,在我国已经形成集设备生产、材料供应、系统设计和工程安装为一体的完整产业链,这既令人鼓舞,又让人担忧,主要存在以下几方面的问题。

3.1 推广应用的问题

目前埋管地源热泵技术在推广应用过程中仍存在两方面的问题:

一方面虽然政府在对推动地源热泵技术方面有了很大改善,但相关的政策支持和财政补贴政策仍显薄弱,并且存在管理部门多种多样,归口部门不明确等问题;

另一方面为了能够承担项目或获得政府在地源热泵技术上的政策支持,把地源热泵系统夸大为一种可以适用于任何地区的“取之不尽、用之不竭”的可再生能源利用系统,忽略了地源热泵技术的科学本质及适用条件。

3.2 系统设计的问题

地下埋管换热器是埋管地源热泵系统的核心部分,设计合理与否直接影响到系统的运行效果及初投资。土壤的初始温度、类型、传热特性以及密度和湿度等参数是影响埋管换热器设计的重要参数,因此做好施工场地的地层勘察和土壤热物性测试工作非常重要。同时,建筑物全年累计的冷热负荷通常是不均衡的,因此在埋管换热器的设计中,必须要确定的是依据冬季热负荷还是夏季的冷负荷来计算换热器长度,另外,建筑物的冷热负荷都是随着环境温度的变化而变化的,所以运用动态负荷计算软件来分析建筑物的全年逐时负荷也就非常重要了。

但由于目前行业的相关规范尚不完善,市场准入等管理制度不健全,个别非正规的设计单位或企业为了降低成本,既不进行土壤热物性参数的测试,也不计算建筑物的全年逐时冷热负荷,而是采用经验值代替,甚至完全照搬周边地源热泵工程的设计参数,严重影响了系统的最终运行效果。

3.3 工程施工的问题

对于埋管地源热泵系统的施工与承包单位没有建立资质审核制度,地下埋管换热器部分的施工和验收也缺乏相应的标准,施工队伍技术水平良莠不齐,具体表现如下:

(1)热交换井的深度与孔径无法保证,钻孔深度不够,孔径偏大的现象非常普遍;

(2)受现场地形条件限制,实际钻孔间距小于

设计间距,影响了地下土壤温度的恢复速度,并进一步造成埋管换热器效率逐年下降;

(3)下放埋管换热器时不安装隔离支架,形成“热短路”现象,影响换热器的换热效果;

(4)不按照设计配方配制回填材料,直接采用原浆回填,甚至不回填。

3.4 系统运行的问题

在埋管地源热泵系统的运行过程中,操作人员能否按照操作规程严格操作,对系统的运行效果也有着显著影响。在一些大型系统中,通常配有辅助热源或冷源作为调峰设施,因为操作人员嫌麻烦,随着冷热负荷增长不及时甚至完全不开启调峰设施,或经常在冷热负荷不大时只开调峰设施而不运行埋管地源热泵系统,都将影响整体系统的冷热平衡功能,导致系统冬夏季节冷热不平衡量超出土壤承受能力,埋管换热器周围的土壤温度逐年下降或上升。这种情况在一些大项目中已出现较多且没有引起足够的重视^[12]。

4 建议

(1)加大与政府有关部门的沟通力度,促进政府完善和强化政策支持力度,建立完善的鼓励政策和技术审批及监督管理机制。从推广模式、技术研发、法规制定、政府补贴等多方面推动该技术的应用与推广。

(2)进一步加强埋管地源热泵系统中埋管换热器和土壤热交换的理论及应用研究,确立统一的理论模型与计算方法,对大型埋管地源热泵工程进行数学模拟和优化设计,确保系统的节能环保效果。综合暖通空调、水文地质等相关学科理论,加快编制结合中国特点及发展现状的埋管地源热泵行业规范规程,指导地源热泵行业的健康快速发展。

(3)针对埋管地源热泵系统中埋管换热器部分的设计、施工和监测,建立完善的施工资质管理制度,实行市场准入制。并同时加强地源热泵从业人员的技术培训,提升行业整体技术素质。

(4)在施工完毕项目正常运行阶段,应建立相应的监测评估机制,定期监测埋管地源热泵运行时各关键参数(如地下埋管换热器的进出水温度、热泵 COP 值等)的变化情况,根据监测结果对地源热泵系统进行维护或模型调整以保障系统的长期稳定运行。

(下转第 48 页)

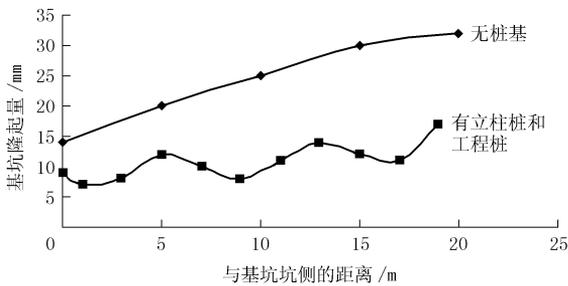


图6 有无桩基基坑坑底隆起的变形图

3.3 计算结果分析

由图4可知,基坑内有工程桩存在时,坑底隆起曲线为波纹线,波谷处是工程桩所在的位置,最大的隆起量约为35 mm;无工程桩存在时,隆起曲线为平滑上凸形,基坑坑底最大隆起量为57 mm。通过多个算例的综合分析比较,有工程桩时的基坑坑底隆起量比无工程桩时减少25%~50%。

由图6可知:基坑内立柱桩与工程桩都存在时,基坑隆起曲线为波纹线,坑底最大的隆起量约为17 mm。波谷处是立柱桩和工程桩所在的位置,其中工程桩的波谷高于立柱桩的,这是因为立柱桩的桩长、桩径和荷载都大于工程桩。无桩基时,隆起曲线为平滑上凸形,基坑坑底最大隆起量为32 mm。通过多个算例的综合分析比较,有工程桩和立柱桩的基坑坑底隆起量比无工程桩的减少40%~50%。

以上计算结果,与现场实测结果基本一致。

4 结论

(1) 基坑坑底隆起量与土体的压缩模量呈反比

关系。试验和经验都表明,在基坑内设置基桩后会增加土的压缩模量,从而减小基坑坑底变形,且随着桩间距的减小和工程桩长度的增加,基桩对坑底隆起的影响越大。

(2) 运用 ANSYS 建立有限元模型定性分析工程桩和立柱桩对基坑坑底隆起的影响,结果表明:①基坑内无工程桩时,隆起曲线为平滑上凸形;有工程桩时,基坑隆起曲线为波纹线,波谷处是工程桩所处位置,说明基坑中有工程桩时,能显著减小基坑坑底隆起;②基坑内若还有立柱桩存在时,基坑隆起曲线为波纹线,立柱桩和工程桩所处位置都在波谷处,但立柱桩的谷底比工程桩的更低,说明基坑中有立柱桩时,减小基坑坑底隆起的作用更为明显。

参考文献:

- [1] 戴标兵,范庆国,赵锡宏.深基坑工程逆作法的实测研究[J].工业建筑,2005,35(9):54-59.
- [2] 鲁宏.考虑工程桩的存在对深基坑变形性状影响的有限元分析[D].天津:天津大学,2004.
- [3] 宰金珉.开挖回弹预测的简化方法[J].南京建筑工程学院学报,1997,(2):23-27.
- [4] 李洋溢.条形基础加筋砂土地基室内模型试验的分析研究[D].上海:同济大学,2006.
- [5] [美]S. S Rao,著.工程中的有限元法[M].傅子智,译.北京:科学出版社,1991.
- [6] 吴家龙.弹性力学[M].上海:同济大学出版社,1993.
- [7] 苏玉杰.逆作法基坑立柱桩的位移计算分析[D].上海:同济大学,2006.
- [8] 李梵.垂直埋管土壤源热泵的研究[D].青岛:青岛建工学院,1999.
- [9] 刘宪英,王勇,胡鸣明,等.地源热泵地下垂直埋管换热器的试验研究[J].重庆建筑大学学报,1999,(5).
- [10] 林媛.太阳能深层土壤蓄热的数值模拟与实验研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2003.
- [11] 杨卫波,施明恒,董华.太阳能-土壤源热泵系统(SESHPs)交替运行性能的数值模拟[J].热科学与技术,2005,4(3):228-232.
- [12] 吴晓寒.地源热泵与太阳能集热器联合供暖系统研究及仿真分析[D].长春:吉林大学,2008.
- [13] 马宏权,龙惟定.埋管地源热泵系统的热平衡[J].暖通空调,2009,39(1).
- [14] Ball D A. Design Method for GSHP[J]. ASHRAE Trans, DC-83-03:416-440.
- [15] 王秉忱,田廷山,赵继昌,等.我国地温资源开发与地源热泵技术应用、发展及存在问题[J].地热能,2009,(1).
- [16] 李家伟.对土壤热泵装置的研究[D].青岛:青岛建工学院,1995.
- [17] 于立强.青岛东部开发区建设以海水作冷源大型热泵站可行性分析[A].全国暖通空调制冷学术年会论文集[C].1996.
- [18] 李家伟,廉乐明,于立强.土壤源热泵的国内外发展历史与现状[A].全国暖通空调制冷学术年会资料集[C].1996.
- [19] 于立强,张开黎,李梵.垂直埋管地源热泵机实验研究[A].全国暖通空调制冷学术年会学术论文集[C].北京:中国建筑工业出版社,2000.

(上接第44页)

参考文献: