

地下能量利用的新技术——地热泵系统与岩土工程

蒋秋戈

(中装集团中国地质装备总公司,北京 100027)

摘要:介绍了地热泵系统的工作原理、系统特点、应用范围,以及建造地热泵系统所涉及到的有关岩土工程技术问题。

关键词:新能源;地热泵系统;岩土工程

中图分类号:TU831.3;P634 **文献标识码:**C **文章编号:**1000-3746(2001)S1-0019-05

1 概述

由国家科学技术部高新技术开发与产业化司主办,北京市计科能源新技术开发公司承办的“中美地热泵技术交流会”于2000年6月19~23日在北京召开。国家经贸委、科技部有关部门的领导出席了会议,有来自城市管理部门、环境保护部门、建筑研究设计单位、建筑施工单位、房地产开发机构、大学、热泵设备制造商等部门代表参加了会议,大会围绕“运用地热泵技术为住宅小区或公用楼宇采暖制冷,大幅降低运行费用的节能解决方案”的主题,系统地介绍了地热泵技术的工作原理、发展状况、系统设计和应用经济分析等情况。

地热泵技术在美国是完全成熟并产业化的技术,由于这项技术在我国刚刚开始推广,国内对该技术尚不了解。因此,本次大会专门邀请美国地热泵协会主席、美国著名地热泵工程商和产品生产商以及国内专家,结合美国工程实例和我国地热泵示范工程的具体情况对地热泵技术进行全面详实的介绍,并展出地热泵设备实物,以此加强国内有关方面对地热泵技术的了解。

为了减少我国由于冬季采暖所造成的大气污染,降低现有制冷空调的能源消耗,寻求低能耗无污染制冷空调技术,国家科学技术部与美国能源部分别代表两国政府签署了中美两国政府地热泵合作协议,引进和推广美国先进的地热泵技术。地热泵项目是中美能源效率与可再生能源合作议定书附件六下的项目,此次会议是该项目中的重要内容之一。

2 世界地热泵技术发展状况

2.1 地热泵系统概念

地热泵系统(Geothermal Heat/Cooling System)在美国有多种不同的名称:地热泵(Geothermal Heat Pump)、地源热泵(Ground Source Heat Pump)、水源热泵(Water Source Heat Pump)、低温地热(Low Temperature Geothermal)。在我国称之为地热泵,也有的称地源热泵。

地热泵是一种先进的高效节能、无污染的既可供暖又可制冷的新型空调系统。它利用地下常温土壤或地下水温度相对稳定的特性,通过深埋于建筑物周围的管路系统在地下水与建筑物内部完成热的交换。冬季它代替锅炉从土壤中取热,向建筑物供暖,夏季它代替中央空调向土壤排热给建筑物制冷。同时,它还能供应生活热水。

需要特别指出的是:地热泵中的热(冷)源不是指地下的热蒸气或热(温)水、干热岩而是指一般的常温土壤。它对地下热源没有特殊的要求,可在绝大部分地区推广应用。

2.2 国际地热泵的发展方向

最早的地热泵系统是在瑞典应用的。瑞典的研究人员在20世纪70年代开始利用适合应用的塑料管研究环路式地热泵系统。

目前,国际上地热泵的发展呈现3个方向:

(1)以美国为代表的,既可制冷又可供暖的地热泵技术。

(2)以日本为代表的,既可制冷又可供暖的空气热泵技术。

(3)以北欧为代表的,通过提供热水进行供暖的

收稿日期:2001-05-30

作者简介:蒋秋戈(1964-),男(汉族),河南人,中装集团中国地质装备总公司高级工程师,钻探工程专业,从事岩土工程机械及施工技术研究工作,北京市东三环北路丙2号,(010)64636024。

热泵技术。

2.3 美国热泵发展状况

在美国,热泵是一种成熟的、完全产业化的技术,目前全美热泵数量占全部空调保有量的19%,它的最大优点是节能和无污染,而且可分户计量。它的运行费用只相当于普通空调的50%左右。它不向外界排放任何废气、废水、废渣,是一种理想的“绿色技术”。在美国有上百家厂商从事热泵系统主机及其零配件的生产,分布在全美各地的众多设备供应商、工程商可为不同要求的用户提供完善周到的服务。经过近20年的发展,此项技术已在北美的各类技改工程上得到广泛的应用。它完全不需要任何的人工热源,彻底取代了锅炉或市政管网等传统的供热方式和中央空调系统。热泵的销售数量以每年20%的速度递增,2000年全美销售数量达40万台。

2.4 热泵应用范围

可以为商业楼宇、公用设施、住宅、体育场馆、别墅、学校、医院、宾馆、商场、办公室提供热量、冷量,也可为游泳池、温室和养殖设施提供热源或冷源。

2.5 热泵技术在中国的推广

北京市计科能源新技术开发公司作为国家科学技术部确定的热泵示范推广单位,负责热泵技术在中国的示范推广工作,目前正在进行中国北京、广州、宁波3个示范工程。

(1)北京示范工程:以供暖为主制冷为辅。

(2)广州示范工程:以制冷为主供暖为辅。

(3)宁波示范工程:制冷、供暖兼顾。

3 热泵系统

3.1 热泵系统工作原理

简单地说,可以把热泵想象成这样一个系统:它象一台窗式空调,但不把它安装在窗户上,而是安装在室内。那么如何散热呢?有一种巧妙的方法:在水源热泵机组中,将原来窗式机通过风扇进行热交换的“冷媒-空气”交换器换成了“冷媒-水”交换器,并将这个交换器接到通往室外的管道上。管道的另一端接到埋在土壤里的特殊的塑料管或抽取地下水的水系上。这样在管道中充满水,形成一套水循环系统,利用地下水或地下土壤全年基本恒温的特点,在夏天,通过水源热泵可以将室内的热量由管路中的水散发到地下水或土壤里,保持室内的凉爽;而到冬天,又可以过水源热泵由管路中的水将地下水或土壤里的热提取出来,输送到室内,为房间供暖。与窗式空调不同的是热泵系统是通过小型风管向各个工作区送风的。如果将这套系统应用在一栋房子上,它就是一套小型的户用中央空调系统,但如果应用在大型建筑物里面,每个房间的水源热泵机组共用一个水循环系统,那它就成为一套大型中央空调系统了。当然,热泵系统实际应用的时候不是这么简单,这里所说的只是一种形象的概念。见图1、2。

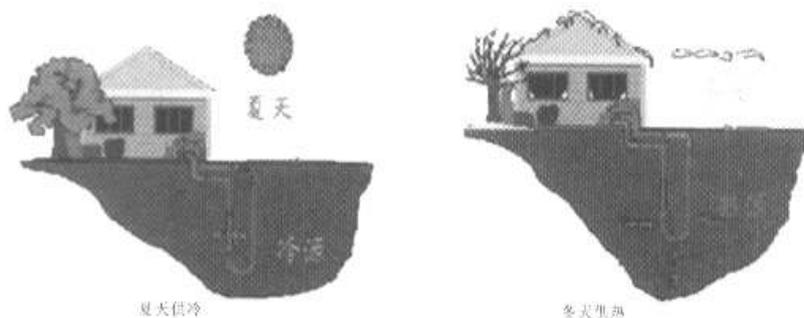


图1 热交换示意图

3.2 应用方式

目前,热泵主要有3类应用方式。

3.2.1 地藕管热泵系统

以导热好、抗腐蚀、强度高,且可挠曲的材料制成管路,内有导热流体(水或防冻剂)同土壤直接交换热后,进入水源热泵机组的热交换器与其换热。

按其敷设方式分为:

(1)水平敷设地用管路。此种系统适合制冷供暖面积较小,周围有较大空地的建筑物,其初投资也相对较小。一般来讲,水平沟渠的深度为1.2~2m,间距3~6m,每冷吨的负荷大约需要150~180m长的地藕管。见图3、4。

(2)垂直敷设地用管路。此种系统适合制冷供暖面积较大,周围有一定空地的建筑物,但初投资相

对较大。通常,垂直孔深 30~100 m,孔径 0.2 m,间距 3~6 m,每冷吨的负荷大约需要 70~100 m 长的地藕管。见图 5。

3.2.2 地表水热泵系统

水源热泵机组通过敷设在水底的盘管内部的流

体(水或防冻剂)与江河、湖泊、海水进行热交换——吸热(采暖)和排热(制冷)。见图 6。

此种系统需要建筑物周围有较大的河流或水塔,可适合不同制冷供暖面积建筑物的需要,而且初投资最小。

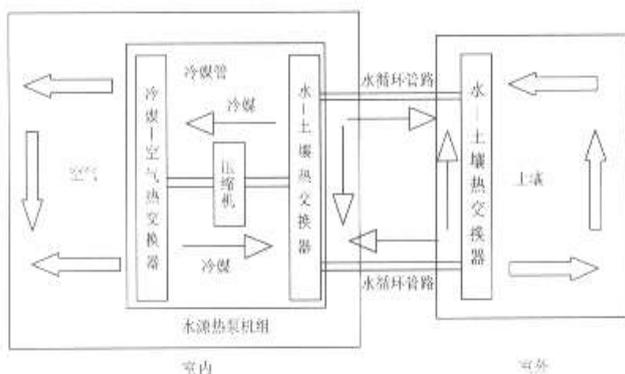


图2 系统工作原理图

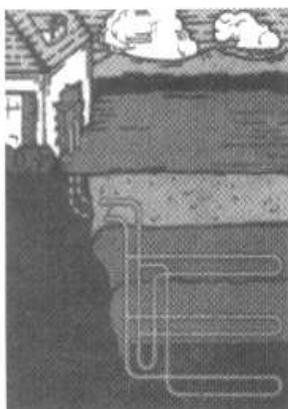


图3 水平地藕管路(1)

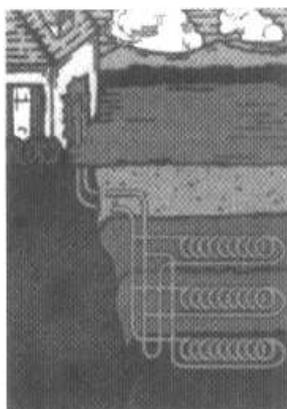


图4 水平地藕管路(2)



图5 垂直地藕管路



图6 地表水热泵

3.2.3 地下水热泵系统

水源热泵机组通过板式换热器由水泵抽取的地下水进行热交换——吸热(采暖)和排热(制冷)。经过热交换的地下水再排入或加压泵入地下水层中。

在没有空地或水域的情况下这种系统可提供一种解决方案,而且可应用在各种不同大小制冷供暖面积的建筑物上,初投资也比较节省,但该系统易受地下水资源变化的影响。

3.3 应用条件

地热泵是依靠消耗少量电力驱动压缩机并通过土壤热交换器或地下水与土壤进行热量交换,从而实现制冷或供暖的。因此,应用此系统需要具备以下条件之一:

- (1)应用建筑物周围有足够的空地。
- (2)应用建筑物临近较大水域。
- (3)应用建筑物所处地带可以提供足够的地下水。

3.4 地热泵系统特点

由于地热泵系统采取了特殊的换热方式,使它具有普通中央空调系统不可比拟的优点。

(1)高效、节能:夏季高温差的散热和冬季低温差的取热,使得地热泵系统换热效率很高。因此在制造同样热量或冷量的时候,只需小功率的压缩机就可实现,从而达到节能的目的,平均产生1冷吨的冷量仅需0.88 kW的电力消耗。其耗电量仅为普通冷水机组加锅炉系统的40%~60%。

(2)环保,无污染:地热泵系统在冬季供暖时,不需要锅炉,因而毫无污染。

(3)低运行费用:系统的高效率,压缩机的低功耗,使电费的支出大幅度减少。

(4)低维护费用:简单的系统组成,象冰箱一样的高可靠性,使得地热泵系统无需专人看管,也无需经常维护。

(5)简单的控制设备:可实现从最简单(起停、供暖、制冷三挡)到复杂的可编程智能控制方式,并可进行远程集中控制与诊断。

(6)运行灵活,系统可靠性强:每台机组可独立供冷或供热,个别机组故障不影响整个系统的运行。

(7)节省占地空间:没有冷却塔和其它室外设备,没有中央空调集中占地问题,节省了空间和地皮,产生附加经济效益,并改善了建筑物的外部形象。

(8)较长的使用寿命:经国外运行验证,机组寿命均在15年以上。

(9)易于管理:实现机组独立计费,分户计量,方便业主对整个系统的管理。

(10)应用灵活:灵活性强,可用于新建工程或扩建,并可实现分期投资。

(11)可提供生活热水:在机组上添加热回收附件和储水罐后,便可提供40℃以上的生活热水,方便经济。

3.5 地热泵与普通中央空调的比较(见表1)

表1 地热泵与普通中央空调优缺点比较

地热泵	普通中央空调
优点	缺点
热交换通过土壤或地下水进行 无中央机组,可减少占地面积 高效节能,运行费用仅为中央空调的40%~60%	热交换通过空气进行 需中央机组,占地面积大 耗能较大
可同时供冷和供热,可单机或分区工作,可提供生活热水,使用灵活,并能利用潜热,从而更加节能 启动电流小,对电网冲击小,并可起“消峰”作用	一般在同一时刻,只能供冷或供热,要开必须全部开动 启动电流大,对电网冲击大
冬季供暖不需辅助热源,可取代锅炉采暖,不产生任何污染,有利于环保 结构简单,室内管道无需保温,维护费用低 可分期投资,根据需要可逐层加装水源热泵机组 可按户计量核算,计费合理	辅助热源有可能对大气造成污染 结构复杂,冷冻水管需保温,维护费用高 必须一次投资 只能均摊费用,收费不合理
缺点	优点
建筑物周围要有较大空地或水域 新风系统设计、施工较复杂 机组噪声比风机盘管略大,需采取隔音措施 室外施工量大	不受此限制 配合主风管安装,较简单 室内噪声主要来自风机盘管 无室外施工

4 美国的工程实例

4.1 高特饭店东楼及滨河写字楼地源热泵应用

总建筑面积:171万 ft^2 (1 $\text{ft}^2=0.0929\text{m}^2$),包括25层大楼2栋,15层大楼2栋,其中:写字楼96万 ft^2 ,饭店75万 ft^2 。

热交换量:4700冷吨。

空调类型:地下水式地源热泵。

系统水量:10.6 t/min 。

安装时间:1984年(饭店);1992年(写字楼)。

投资费用:与其它相同功能的中央空调系统相比,每冷吨节省478.7美元,总共节省投资225万美元。

运行费用:与采用普通中央空调的同等面积的高特饭店西楼相比,平均每月节省22725美元,全年节省272702美元,仅为高特饭店西楼的53%,节省47%。

4.2 新泽西州 Stockton 州立大学地热泵应用

总建筑面积:34850 m²。

热交换量:1400 冷吨。

空调类型:垂直式地热泵系统。

钻孔数量:400 个。

钻孔深度:130 m。

土壤温度:13 ℃。

地藕管路占地面积:9000 m²。

安装时间:1994 年。

投资费用:530 万美元。

经济效益:每年节省运行费和维修费 44.5 万美元,比屋顶式风冷机组加燃气锅炉空调系统节省 40%。

5 地热泵系统的建造与岩土工程

由于地源热泵系统是一种利用地下土壤或地下水作为冷、热源进行冬季供暖、夏季制冷的空调系统。其系统主要由 2 部分组成:室内的水-水热泵空调机组;室外的冷热源交换系统。室外的冷热源交换系统的设计涉及地下土体性质(主要是温度)、地下水的水文地质条件,河流、湖泊及海水的水文性质等,其室外的冷热源交换系统的建造涉及大量的岩土工程问题及非开挖管线施工,为岩土工程钻凿业开拓了新的应用领域。

5.1 地热泵系统设计中的岩土工程问题

为准确设计室外的冷热源交换系统需获得以下诸方面的信息:

- (1)建设场地周围地下环境评价。
- (2)地层深部的工程地质与水文地质勘察。
- (3)河流、湖泊及海水的水文地质条件。
- (4)当地的水文气象条件。
- (5)地下管线的埋藏情况。

5.2 地热泵系统建造中的岩土工程施工及非开挖施工

工程地质钻探、水井钻探、地下水回灌井施工、地下水污染监测、地下管线探测、非开挖敷设地下管线(水平顶管和导向钻进)、城市地面沉降监测、垂直埋管钻孔、水平埋管钻孔、埋管钻孔注浆施工、垂直竖井施工。

5.3 施工设备

埋管钻孔由于多在第四系土层施工,钻孔深度一般在 0~130 m 以内,多数作业在城市进行,需要

轻便和便于移动的车装钻机,目前国产设备能够满足这种需求。水井钻孔施工需要 300~600 m 孔深的钻机,主要由于各大城市过量开采地下水,地下水位下降,很难在浅层找到地下水,目前国产水井钻探设备基本满足施工需求。

5.4 澳大利亚悉尼的 Loopmaster 专业钻探公司埋管钻孔施工

在 1996 年 Loopmaster 公司已经钻探超过 90000 m 的埋管钻孔,并且遍及澳大利亚,在设施里灌注近 150000 kg 的膨润土水泥浆。

在澳大利亚最常见的地下热泵系统使用设施是一块有垂直孔的井田,在井田里一些孔的深度达 100 m,成对的高密度聚乙烯管通过特殊的 U 型配件联结被安装在孔中,这些管子被用预先准备好的膨润土混合物浇注以确保与地下有一个好的热量交换,一旦垂直孔被浇注好,流进和返回之间的联结是由专门受过训练的钻工来完成,他们使用电熔合工具将管子和配件联结起来,一旦安装,地下井田可确保超过 50 年的使用寿命。

地下热泵系统比空气直接系统少消耗 60% 的能量,并且发现许多大规模建筑物包括大学、医院和政府办公大楼正准备接受这套系统,一套标准的设施要求在某一位置数千米的钻进工作量,在最近完成的项目中,Loopmaster 公司为 4 名承包商工作了 11 周,钻进 37000 m 左右,安装了一套功率为 2500 kW 的该系统,使用 2 台水泥浆搅拌机来保持浇注,使用了约 60000 kg 的膨润土。

6 结语

在世界发达国家地热泵是一种成熟的、完全产业化的技术,它不向外界排放任何废气、废水、废渣,是一种理想的“绿色技术”。地热泵技术在中国目前开始推广应用,其室外的冷热源交换系统的建造涉及大量的岩土工程问题需要解决,其建造施工也涉及到岩土钻凿业新技术及非开挖管线施工技术的开发和应用,应引起相关部门的重视。

参考文献:

- [1] 李贻毅.工程地质学概论[M].武汉:中国地质大学出版社,1994.
- [2] 林在贲,高大钊.岩土工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [3] 李新国.水源热泵应用低温地热的节能效果分析[D].天津:天津大学,1997.