

天津地区地源热泵系统应用中的若干问题

张 进, 王宝勋, 胡朝彬, 李森清

(天津华北地质勘查局, 天津 300181)

摘 要:介绍了地源热泵的优势,分析了地源热泵在天津的适用性,介绍了地源热泵在天津地区的应用并对其经济性作了分析对比。对天津地区浅层地热勘探的特点及钻孔工程中的相关问题做了介绍,最后介绍了天津地区的水文地质条件,分析了如何解决地源热泵的回灌以及在钻探施工过程中确保不破坏咸淡水层之间的阻水层问题等。

关键词:地源热泵;天津地区;经济适用性;钻孔工程;回灌

中图分类号:TE249 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)10-0007-04

Some Problems in Application of Ground Source Heat Pump System in Tianjin Area/ZHANG Jin, WANG Bao-xun, HU Chao-bin, LI Miao-qing (Tianjin North China Bureau of Geo-exploration, Tianjin 300181, China)

Abstract: The paper introduced the advantages of ground source heat pump and application of it in Tianjin, analyzed the applicability and made the analysis comparison on its economy. The paper also introduced the characteristics of shallow geo-thermal survey in Tianjin and some relative problems in borehole engineering, described hydrogeology condition in Tianjin, and analyzed how to deal with recirculation for ground source heat pump and damage to resistivity water layer between saline and fresh water layer.

Key words: ground source heat pump; Tianjin area; economic applicability; borehole engineering; recirculation

地源热泵是利用浅层地能进行供热制冷的新型能源利用技术,具有节能和环保双重效益。它与其他能源利用技术相比具有以下优势:属再生能源利用技术;属经济有效的节能技术;环境效益明显;一机多用,应用范围广;节省空间;还可以大大减少对地下水资源和化学燃料的消耗,减少燃煤供热和传统空调制冷对环境的污染,降低对水资源的过分依赖。地源热泵符合人类可持续发展的要求,国际上已经将地源热泵技术列入本世纪最具发展前途的新技术。

地源热泵系统适用面比较宽,可用于办公楼、宾馆、医院、饭店、商店、超市、学校、别墅、居民小区等各类公用和民用建筑中,其可提供采暖、制冷和生活热水。地源热泵系统实施系统工作程序比较简单,可大大缩短建筑物施工工期。其实施步骤为:计算建筑物所需要的冷暖负荷,确定场地的许可性;在确定的场地进行工程必须的工程勘察,了解地下地质和水文地质情况;利用地质勘探进行土壤热物性(地层的热传导系数、比热等)测试;进行系统设计,包括室内系统、地源热泵选型、室外地下换热环路设计;根据设计选择设备进行安装与系统调试;试运行和工程验收。

1 地源热泵系统在天津地区的适用性简析

地源热泵是一种利用地下浅层地能(包括地下水、土壤或地表水等)将低位能向高位能转移,以实现供热制冷的高效节能空调系统,其通过埋设在地下的换热管与土壤进行热交换,冬季把土壤中的热量“取”出来,供给室内采暖,此时地能为“热源”;夏季把室内热量取出来,释放到土壤中,此时地能为“冷源”。此外,冬季通过热泵把大地中的热量升高温度后对建筑供热,同时使大地中的温度降低,即蓄存了冷量,可供夏季使用;夏季通过热泵把建筑物中的热量传输给大地,对建筑物降温,同时在大地上蓄存热量以供冬季使用。

天津地区水文地质条件不太好,地下水资源较缺乏,地下水抽取及回灌困难。下面根据天津的地质条件、地下水情况及地热情况对地源热泵系统在天津地区的适用性作一些简要分析。

地源热泵系统一般分为:地下水热泵系统、地表水热泵系统、土壤热泵系统。地下水热泵系统是利用深层地下水作为热泵机组的热源和热汇,一般用于地下水比较丰富的地区,地下水热泵系统其实并不适合天津地区;地表水热泵系统是利用江、河、湖、海的地表水作为热泵机组的热源和热汇,通常在在

收稿日期:2008-07-10; 改回日期:2008-09-15

作者简介:张进(1966-),女(汉族),天津人,天津华北地质勘查局工程师,热能工程专业,从事热能、勘察、检测等方面的工作,天津市河东区津塘路99号,zhangjin1106@163.com。

筑物周围有大量的地表水域可以利用时,受室外温度的影响大,很多情况下,往往不能满足要求,天津沿海区域可以考虑使用海水作为热泵机组的热源,理论上是可行的;土壤源热泵系统是利用土壤作为热源和热汇,它是由一组埋于地下的高强度塑料管(地热换热器)与热泵机组构成,一般称之为闭环地源热泵。根据现在天津市地源热泵的使用情况来看,由于天津地区有比较丰富的地热资源,目前天津的地源热泵系统主要为地下水热泵系统。在以后的发展过程中,笔者认为在天津地区应该大力提倡与推广土壤源热泵系统。

土壤源热泵系统不受地下水和地表水资源的限制,只需占用一定的埋管区域,对环境无污染,采用可再生能源。在夏季,水或防冻剂溶液通过管路进行循环,将室内热量释放给地下岩土层;冬季循环介质将岩土层的热量提取出来释放给室内空气。由于较深的地层在未受干扰的情况下常年保持恒定的温度,远高于冬季的室外温度,又低于夏季的室外温度,那么效率将得到大大提高。

2 地源热泵系统在天津地区的应用及经济性分析

虽然根据天津的水文地质情况天津并不适合地下水热泵系统,但是天津有丰富的地热资源,只要我们解决好地热水的回灌和热泵利用的技术精髓,还是可以开发利用地下水(地热水)热泵系统的。

我单位是专门从事岩土工程勘察、施工,水文地质勘察、施工和清洁能源、地能开发利用的企业,先后在北京和天津等地区完成多个地源热泵项目,实现了多个建筑物夏季制冷,冬季供暖,提供全年生活热水、游泳场馆热水,培育植物暖房用水等。这些项目基本都是地下水(即地热水)热泵系统。经过多年的工作实践,我们为许多公司、商务会馆、宾馆饭

店、房地产开发配套进行了水文地质勘察和地源热泵安装和维护保养,为施工地提供了节能选择,多次获得业主的工作好评。

下面运用工程实例对地源热泵系统进行投资经济比较。

天津某工程建筑面积约 531.76 m^2 ,总冷负荷约 36.6 kW ,考虑 70% 的同时使用系数,冷负荷约为 25.6 kW ,热负荷约 32 kW 。评价基准条件为:空调每天 24 h 运行;每年 180 天空调制冷周期,120 天采暖周期,其余 65 天为过渡季节周期;空调和采暖周期中,25% 负荷段占空调时间的 10.1%,50% 负荷段占空调时间的 46.1%,75% 负荷段占空调时间的 41.5%,100% 负荷段占空调时间的 2.3%;电价为日间 $0.61 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$,夜间 $0.30 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 。

地源热泵系统集中包括了空调冷、热水及生活热水多项功能以及相应的控制功能,因此除地源热泵和配套的水泵、水箱外不再需要其它设备。选择 1 台总电功率 4.8 kW 地源热泵。夏季制冷:用电量 = 主机功率 \times 开机时间 \times 开机天数 \times 用电系数 = $(4.8) \times 24 \times 180 \times (0.25 \times 0.101 + 0.5 \times 0.461 + 0.75 \times 0.415 + 0.023) = 12234 \text{ kW} \cdot \text{h}$ (其中包括 55°C 热水),按照上述电价计算,总费用为 0.6117 万元。同理可算出冬季采暖总费用 0.4078 万元。

年总费用 = 0.6117 万元 + 0.4078 万元 = 1.0195 万元,且可全年免费提供生活热水。

空调 + 锅炉系统:夏季制冷总费用约 1.134 万元,不含生活热水;冬季采暖 + 生活热水总费用 0.756 万元;生活热水锅炉耗气量总费用 0.91 万元。

年总费用 = 1.134 万元 + 0.756 万元 + 0.91 万元 = 2.8 万元。

总投资对比见表 1。

表 1 地源热泵系统与空调 + 锅炉系统经济对比表

方案	初投资 /万	年运行 费用/万	地源热泵年 节约费用/万	初投资差额 回收周期/年	使用寿 命/年	12 年后二 次投资/万	25 年内的运 行费用/万	25 年内总 投资/万	25 年内地源热 泵总节约/万
地源热泵系统	28.6	1.02	1.78	约 7.6	25	无	25.5	54.1	45.9
大金空调 + 锅炉系统	15	2.8			12	15	70	100	

3 地源热泵系统施工中的一些问题

天津为滨海地区,有丰富的地热资源,其浅层地热钻井勘探有其自身的特点。地源热泵系统的施工过程分为:钻井工程,洗井工程,注浆工程等。下面仅对一些地热勘探及钻孔工程中一些问题做一下相关介绍。

3.1 天津地区浅层地热勘探的特点

虽然天津滨海地区为软土地层,地源热泵主要开发浅部地层(深度 $< 400 \text{ m}$),安装地源热泵及其安装所作的基础勘察手段仍然是钻井(钻孔)。浅层地热勘探工作与水文地质、地基基础或矿产资源的勘探基本相同。但也有其自身的特点:

(1)一般尽量选用轻型可移动式钻机,既可用于

回转钻进,又可用于潜孔锤钻进,以降低钻进成本。通常钻孔费用占地源热泵安装总费用的 1/3 左右。

(2)多数情况下,浅层地热的勘探仍使用回转钻进方法。钻进中通过从钻井液中分离岩屑获取岩样(土样),用以描述地层地质情况。观察机械钻速与回转速度和钻压的关系,以确定地层的相对硬度。通过观察钻井液的漏失或增加来确定地层的渗透性或是否有裂隙存在,同时测量钻井液的漏失量,确定水文地质(水力性能)参数。在钻进水井时,根据上述基础数据下入滤水管后,进行泵水试验,最后确定水力性能参数。

(3)对于地下埋管换热系统,通过考察机械钻速可以确定地层变化位置、相对硬度等。

(4)为获得准确地质数据,需要取心钻进,此时也可以考虑绳索取心钻进方法。

3.2 钻孔工程中的相关问题

钻孔是竖埋管换热器施工中最重要工序。为保证钻孔施工完成后孔壁保持完整,如果施工区地层土质比较好,可以采用裸孔钻进。

孔径的大小略大于 U 形管与灌浆管组件的尺寸为宜,一般要求钻头直径根据需要在 100 ~ 50 mm 之间,钻进深度可达到 150 ~ 200 m,钻孔总长度由建筑的供热面积大小、负荷的性质以及地层、回填材料的导热性能决定,对于大中型的工程应通过设计计算确定,地层的导热性能最好通过当地的实测得到。由于钻孔深度较浅,一般采用常规的正循环钻进方法。在我国,可以采用普通的工程勘察钻机、岩心钻机施工。

钻孔主要有螺旋钻孔法、全套管法、回转斗钻孔法、冲击法等方法。影响钻孔质量与效率的 2 个主要因素为排屑与注水。

对钻孔效率影响最大的是钻屑的排除速度。排渣(屑)的方法主要有正循环法和反循环法。在天津的一些实例工程中多采用反循环法。其他还有双管反循环法。

循环注入物质常采用的有水、空气或者泥浆等。它们的作用一是冷却钻头,二是带走钻屑。对于粘土、亚粘土层一般选择水作为注入物,对于沙土、砂层一般选择注入泥浆进行护壁。清孔时一般选择清水或清浆。在地下水位较低、较硬的土层中,经常使用压气空气或水作为循环物质。

根据不同的钻孔方法,有不同的钻孔机械。分转盘式钻孔机、冲击式钻孔机、淤水式钻孔机、螺旋式钻孔机、全套管钻孔机、回转斗式钻机。他们各有

其适用面和优势,使用时应结合不同的地质条件与施工要求,若能将钻孔过程与下管、封井等工艺相结合甚至是同时进行,将极大的推进地源热泵技术的工程化应用。

4 水文地质条件及工程中问题的解决

天津地区近几年来地源热泵的发展主要形式是地下水源(地热水)开采—回灌形式的水源热泵系统。华北、华东地区的地下水位下降,地面沉降问题一直很严重,天津海拔仅 3.3 m,如不加以控制,地面连续沉降,加之全球温室效应使海水面不断上升,后果将非常严重。

天津地处滨海地区,平原区第四系地层埋深在 400 m 左右,地层岩性以粘土、粉质粘土、淤泥质粘土为主,含水层岩性主要为细砂,部分含水层为粗砂,地层颗粒细。第四系的地下含水层可划分为:(1)潜水含水组,为淡水,深度约 25 m;(2)咸水含水层,海河以北约 50 ~ 60 m,海河以南约 90 ~ 100 m;(3)第Ⅱ承压淡水含水组,底板埋深约为 186 ~ 232 m;(4)第Ⅲ承压淡水含水组,底板埋深约为 302 ~ 325 m;(5)第Ⅳ承压淡水含水组,底板埋深约为 400 m。

天津第四系含水层颗粒较细,在采用浅层地下水源热泵系统时,需要进行谨慎设计、严格施工。在抽灌井数 1:1 的情况下,大多回灌量仅为抽水量的 20% ~ 50%,为了回灌量要达到 100%,即使抽灌井数 1:2 也难达到 100%(因回扬水要排放掉)。为了解决回灌问题,一般在钻一眼抽水井的同时需要钻 2 ~ 3 眼回灌井,井距应该控制在 40 ~ 50 m,且在项目运行后需要根据水井的实际运行情况定期进行回扬和洗井,时间可为 1 ~ 7 天,以恢复回灌井的回灌能力。另外,在施工及维护过程中要保证井身结构的合理、成井质量、回灌技术、水质,这些都会对回灌的效果产生影响。

目前,天津市第二、三、四含水层组在不同的地方已分别形成 6 ~ 7 个水位降深漏斗,政府机构对地下水的开采实施了严格控制,一定要保证完全回灌,防止地面大幅度沉降的发生。

为了保护淡水资源,在钻换热孔时,不能钻穿第一层咸水和第二层淡水之间的阻水层。在天津不同的区域,咸淡水层界面各不相同,在钻换热孔时,需要根据具体的位置查阅相关资料,确保不钻穿该界面,以防上层的咸水流入下层的淡水,而造成下层水的污染。

在实施水源热泵项目时,不能进行混采和混灌,否则会将上层受污染的水回灌到下层中,而污染下层水。因此,在水井施工时,需要根据实际编录和测井的资料,对封井位置进行严格控制。

5 结语

地源热泵系统是一项高效、环保、运行费用低、受自然条件限制少的“绿色节能”技术,它可以实现“一机两用”,提高供热制冷一体化的技术水平,也可以解决传统锅炉、地热大量耗费资源,造成环境污染的问题。作为新型的可再生、清洁的能源利用技术与国家大力倡导的环保节能,实现可持续发展的战略是一致的,具有相当可观的潜力和应用前景。因此,建议政府有关部门一方面制订替代资源利用的整体规划,尤其要根据不同地区、不同地质环境、不同资源的分布特点,明确区域性的推广重点。企业要在不断改进技术手段,不断优化生产与安装工艺结构的同时,做好地源热泵的综合利用和技术不断升级。

根据天津的地质和水文地质条件,应优先考虑采用地源热泵系统,施工过程中,应进行合理设计,在确保不钻穿咸淡水层界面、100%回灌率的情况

下,使系统更加合理、安全可靠。

虽然现在天津地区使用很多地下水源热泵系统,但是毕竟对地下水的资源造成一定的影响。天津的水文地质条件不好,土壤源热泵系统应该更适合于天津地区。地源热泵是高科技通向节能环保的桥梁,地源热泵对于取其土壤、岩石、含水层等中的冷(热)量,用来改善人类的生活环境是切实可行的,是一种可以较大规模开发利用可再生能源的良好途径,在天津地区有更加广阔的发展空间。

参考文献:

- [1] 朱家玲,等.地热能开发与应用技术[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [2] 美国制冷空调工程师协会.地源热泵工程技术指南[M].徐伟,等译.北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [3] 天津市地质矿产局.天津市地质环境图集[M].北京:地质出版社,2000.
- [4] 天津市地质矿产局.天津市水文地质环境图系[M].北京:地质出版社,2000.
- [5] 王晓伟,苏登超.地源热泵系统施工技术概述[J].工程建设与设计,2000,(4):39-41.
- [6] 郑秀华,程金霞,郑伟龙.地源热泵技术应用及施工方法的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(3):42-45.

(上接第6页)

浆,关闭注浆管,候凝 72 h。

3 结语

(1)采用井下地震监测方法可以减小地面噪声干扰,提高地震监测精度,取得可靠、连续、完整的地震记录图,准确测定地震基本参数,为预报地震和开展各项研究工作提供基础资料。

(2)地震监测井的选址、井深、井径、井斜、固井、防磁干扰、井内干燥等技术方面有其特殊要求,应合理设计并采用相应的钻井工艺措施,以达到优质地震监测井的技术指标。

(3)河北平原区地震监测井采用三翼牙轮钻头正循环无心回转钻进,配加钻铤减压全面钻进的工

艺方法,可确保井孔垂直度满足设计要求。

(4)井底事先封底及管外固井是确保成井为干井且井内清洁干燥的重要措施。井管底部 8 m 的无磁性钢管,防止了地震监测仪的磁性干扰,井管间的丝扣加焊接连接防止了地下水的渗入。最后通过完善的管外固井技术保证井下井管的稳定性与地层的良好耦合,保证了优良的固井质量。

参考文献:

- [1] 李粮纲,蔡亚光,等.井下地震监测的钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(10).
- [2] 河北省地质矿产局.河北省北京市天津市区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.