

地源热泵技术应用及施工方法的研究

郑秀华, 程金霞, 郑伟龙

(中国地质大学 北京 工程技术学院, 北京 100083)

摘要:地源热泵(Geothermal Source Heat Pump—GSHP)在当今世界地热能开发利用方面发展得最为迅速,也是我国直接利用地热资源最有前景的一个领域。讨论了地源热泵的经济性、环保性和技术可行性,介绍了其钻井、完井及地下换热器的安装等施工方法及该技术在我国的发展现状,并对其远景进行了展望。最后指出,应加强国际合作以促进地源热泵在我国的应用与推广。

关键词:地源热泵;地热能;钻孔方法;换热系统

中图分类号:TE249 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2004)03-0042-04

Application of GSHP Technique and Research on Its Construction Methods/ ZHENG Xiuhua, CHENG Jin-xia, ZHENG Wei-long (China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Geothermal Source Heat Pump (GSHP) is developing fastest in current world to exploit geothermal energy. It is also one of the most hopeful fields in our country to directly exploit geothermal sources. Economy, environmental protection, and technological feasibility of GSHP were discussed. The construction methods, such as well drilling, well completion and installation of underground heat exchanger, and the current development situation in China were introduced. The long-range perspective of GSHP also was looked ahead. Finally it was pointed out that the international cooperation should be strengthened to promote the application and popularization of GSHP in China.

Key words: geothermal source heat pump; geothermal source; drilling method; heat exchanger

随着我国经济的迅速发展,能源工业受到了来自经济发展和环境保护两方面的挑战。一方面,为了确保经济的高速发展,能源需求日益增加。现在,我国石油消费40%靠进口,预计到2020年,这个数据将达到50%。即使控制GDP的增长为5%,能源“瓶颈”现象也会很严重。另一方面,我国一直在遭受能源引起的环境问题。根据世界卫生组织的报告,世界上10个污染最严重的城市,中国就有7个。我国CO₂的排放量,位于美国之后,居世界第二位,1998年排出7.40亿t,1990~1996年,CO₂排放量的增长占全世界总增长量的90%。因此,优化能源结构,开发地热能、太阳能、生物能和风能,以减少传统能源(煤、石油和天然气)的利用,对能源的可持续发展是十分必要的。

地热在能源工业中发挥着重要的作用。我国地热能资源丰富,开发利用历史悠久。高温地热能(>150℃)主要集中在西藏、云南腾冲和台湾,主要用于地热发电。低温(<90℃)和中温(90~150℃)热源用于供暖、工业加工、农业、水产业和温泉度假村。我国地热直接利用量位于世界第一,1999年地

热热水的总流量达64416 kg/s,其提供的热功率为16209 MW,热能为162009 TJ/年^[1]。

地源热泵是一项较新的技术,可以实现“一机三用”,即供暖、制冷和供应热水,在地热能利用中发展最为迅速,年增长速度为10%^[2]。

1 在我国开发地源热泵市场的可行性

1.1 影响地源热泵市场开发的经济和环境因素

1.1.1 地源热泵高效供热和制冷的特性

地源热泵系统是一种利用地下浅层地热资源(也称地能,包括地下水、土壤或地表水等)的既可供热又可制冷的高效节能空调系统,也就是说它将储存于地下的冷(热)量通过一定的装置采集,然后用一定的介质将冷(热)量输送到需要的地方,改善人类生存的环境,达到调节空气的目的,同时还能改善土壤的温度场和动植物的生存条件。与锅炉(电、燃料)供热系统相比,地源热泵要比电锅炉加热节省2/3以上的电能,比燃料锅炉节省1/2以上的能量。我国绝大部分地区,地表以下5~10 m的温度稳定在5~25℃。地源热泵系统在全年的使用过程中,

收稿日期:2003-06-23; 改回日期:2003-11-21

作者简介:郑秀华(1965-),女(汉族),辽宁康平人,中国地质大学(北京)副教授,地质工程专业,博士,从事地质工程教学与研究工作,北京市海淀区学院路29号,(010)82321976,ZXHBOBBY@sohu.com。

能效比在 3.3~4.5 之间,也就是说,每 1 kWh 的热量输出,只需要 0.22~0.30 kWh 电量,这比空气热泵高出 40%,而运行成本仅是中央空调系统的 50%~60%^[3]。

1.1.2 地源热泵供暖方式灵活

地源热泵可以提供不同类型、不同规模和分散的安装方式,功率从几千瓦到上百千瓦,能满足不同地区的不同需求,这在我国非常具有实用性。例如,北京需要供暖、制冷和热水供应,地源热泵既可在商业区,也可在居民区安装,它对改善北京环境具有重要意义,这一点对 2008 年奥运会是非常重要的。我国西部,经济不如东部发达,生态环境破坏程度相对较低,但能源缺乏,作为一个对环境无害的系统,地源热泵在西部开发中将发挥越来越重要的作用。

1.1.3 地源热泵系统的环保性、方便性及经济性

地源热泵系统的 CO₂排放量几乎为零,减少了环境污染。地源热泵系统所需的安装空间较小,运行维修费用很低,地热能不需要远距离输送。使用周期的成本分析显示地源热泵系统的成本相当划算。

1.2 影响地源热泵市场开发的技术因素

地源热泵在我国是一项相对较新的技术,为了促进地源热泵市场在中国的开发,尚有许多急待解决的技术问题。

1.2.1 地源热泵系统的选择

地源热泵包括不同系统,需要依据具体情况而选择,如气候、地形和水文、地质条件,还有地表允许安装面积等,另外还要考虑潜在的热源的存在,如工业废热等。

水源系统:在一些地区,如果有足够开采的地下水,而且水质优良,应优先考虑水源系统。该系统可以满足较大供热和制冷负荷要求,而且成本相当低。

埋管系统:包括水平热交换器和垂直热交换器。

水平热交换器将换热管埋在地表以下 1.5 m 左右,换热管可以串联、并联,也可以螺旋方式。这种系统安装简便,但需要相当大的安装面积。

垂直热交换器能够在有限的面积下提供足够的热交换容量,所以被广泛采用。垂直热交换器的设计主要取决于地层的热物理性能,小系统设计相当简单。在欧洲,30 kW 以下的设计中,经常使用的是一套图表^[4];在美国也有许多供原始设计和成本估计的经验规则。如果系统装置较大,其设计则很复杂,需要更成熟的方法,如计算机模拟技术。现在有许多应用于此领域的软件,如欧洲人开发的“EED”,

美国 Stephen Kavanaugh 的“GchpCalc”商业建筑地源热泵设计软件^[5]。

在比较特殊的情况下,可以直接利用桩基和承重墙作为垂直热交换器。此外,从矿井、隧道或其它混合系统中流到竖井或地下热能库中的水,可用来供热或制冷,其适应性强,工作效率很高^[6]。

1.2.2 地源热泵系统的设计基础及设计

为了提高地源热泵的安装效率,研究地源热泵的设计基础以及设计方法是非常重要的。这主要包括两个方面的工作,即基础数据调查和钻孔热交换器与周围地层的热传导系数研究,如气象、地形和地质研究,及地下温度分布、地热梯度、不同土壤的热传导系数、回填材料的热物性和地下水的情况等等。

欧洲和美国都进行了这方面的工作,我国也应该开展有关土层热物性测试方法与仪器的研究,建立相应的地层数据库信息系统。同时,也要研究地层与回填材料及换热器中导热流体的传热机理并建立热传导模型,利用计算机技术,使热交换器中导热流体与地层的热传导性能计算更精确。

1.2.3 地源热泵设备的选择及施工

要深入研究热泵选择、回路设计和泵送技术,研制出与热交换器相配套的系列管材、管路配件以及专门的钻井、下管及封井设备,根据不同冷、热负荷确定合理的地热换热器形式和地源热泵系统最佳匹配参数。最后,测定整个地源热泵空调系统长期运行的效果及其特性的多样性对热交换器的性能的影响。地源热泵系统安装标准的制定和工作技术手册的编制,对于系统的设计、安装和使用也很重要。

1.3 地源热泵系统的成本分析将有利于地源热泵市场的开发

在进行经济、环境和发展潜力的市场调研中,最重要的考察对象是地源热泵系统的成本,成本评估是我国引进该系统的第一步。只有成本划算时,它才具有竞争力,才能被广泛采用。欧洲、美国和日本的调查结果显示,地源热泵系统较其它供热系统的成本而言是划算的。面向国内进行市场调研,做成本评价尤为重要。

2 地源热泵系统的施工方法

如前所述,地源热泵主要开发浅部地层(深度<400 m)地热,安装地源热泵及其安装所作的基础勘察手段仍然是钻井。与其它行业相比,地源热泵的钻孔方法有许多相似性,但也有自己的特点。

2.1 浅层地热的勘探方法及特点

浅层地热的勘探工作基本上与水文地质、地基基础或矿产资源的勘探相同。但有自己的特点,主要表现在以下几个方面。

(1) 开发浅层地热与油气钻井不同,尽量选用轻型可移式钻机,既可用于回转钻进,又可用于潜孔锤钻进,以降低钻进成本,如用安装于拖拉机上的螺旋钻机等。通常钻孔费用占地源热泵安装总费用的1/3。

(2) 大多数情况下,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,用以描述地层地质情况。同时,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,如果钻进硬岩层(稳定地层,火成岩或变质岩),最好使用冲击钻进方法(潜孔锤)。这种情况下,从空气排出口分离岩样,用以描述地层岩性及矿物成分。与回转钻进类似,通过考察机械钻速可以确定地层变化位置、相对硬

度和裂隙位置。由于使用空气,可以连续记录水的涌入速度,并可以采取水样做化学分析。

(4) 为获得准确地质数据或者需要大直径岩样来确定岩层的热物性能或水力性能时,需要取心钻进,此时可以考虑绳索取心钻进方法。

2.2 水源热泵系统的钻井与完井

当地层可以提供足够的地下水,且水质很好时,应该优选以地下水为热源的水源热泵系统,该系统的优点是可以满足冷热负荷较大的建筑物,同时安装成本较低。相对而言,水源热泵系统钻孔直径较大。钻进大直径水井时,为保证岩屑的排除和孔壁的稳定,应该考虑反循环钻进方法。

水源热泵的完井方法根据地层情况而定,主要采用自然(裸眼)和填砾两种方法。对于水源热泵系统,常采用生产井和注水井双井系统,其完井方法基本相同。对于地下水蓄能系统,水井作为生产井和注水井交替使用。

2.3 软土层中地下换热器的安装

软土层和非固结地层中地下换热器可以直接压入或夯入,见表1。其优点在于:不存在孔壁稳定问题;换热管与地层接触良好,不需要回填;安装一步完成。

表1 软土层中地下换热器的安装方法

土层类型	下管方法	热交换器	备注
砂、砾石层	打夯或冲击	同轴型	只适用于钢管,会引起腐蚀问题
	水力射流冲击	同轴型	用于钢管,会引起腐蚀问题
粉砂层及粘土层	打夯或压入	同轴型	用于钢管,会引起腐蚀问题
	用SGI ⁴ 工具冲击	单-U型管	塑料管

这种形式安装地热交换器,深度限于10 m之内,简易、迅速并且经济合算。但要求软土层厚度10 m,而且没有大的砾石或岩块存在。

2.4 地下埋管换热系统钻孔方法

地下埋管换热系统利用地层(土壤)作为冷热源,其钻孔方法可根据地层有多种选择,埋(下)管时应注意下列问题:

(1) 钻进硬岩层有利于下管,如果地层含有大量石砂,地层的导热性能好。

(2) 如果孔内充满了粘稠的泥浆,而且为了保持孔壁稳定,不能完全替换,则应采取下列措施下管:在换热管底部挂上重物;利用钢管(如钻杆)下管。

2.5 大规模或密度很高的地下埋管换热系统的特殊问题

大规模地下埋管换热系统中,应该注意的问题包括:如果有上百个换热器需要安装,为了在较短时

间内完成,必须使用多台钻机同时开工。因此,必须提前计划好场地的分配、水、换热器管道和回填材料的供应以及泥浆处理等问题。

另外,在大规模埋管中,钻孔偏斜问题十分严重,为了避免钻孔交叉,防止对已安装的地下换热系统产生破坏,必须尽量防止钻孔偏斜,唯一办法是尽量直接在钻头上部加压。

2.6 地下埋管换热系统的回填问题

换热管和地层之间良好的热交换对地下埋管系统的性能极为重要,硬的结晶岩体中,钻孔用水填满即可。随着温度的增加(如钻孔蓄能库中),水产生对流,热交换加快。

大多数情况下,特别是当地政府要求保护地下水时,必须用适当的材料回填。施工时需要通过导管将回填浆液泵入井底,慢慢升到井口,以保证填充完全。

3 地源热泵在我国的发展现状和远景展望

天津大学、重庆建筑学院等早在1950年就开始研究热泵,截至1999年,全国共有100套左右地源热泵(水源热泵),绝大多数是开式系统。随着2008年奥运会的申办成功,地热开发越来越受到人们的重视。北京地质勘察技术研究院的统计结果显示,目前北京市共有10万 m^2 的供暖是由地源热泵提供的。北京恒有源科技发展有限公司已经开发了中央液态空调系统。重庆大学、山东建筑工程学院和长春热能有限公司也先后进行了垂直孔热交换器的安装,北京的一些建筑物也正在或计划安装地源热泵系统。

随着我国经济的发展和人民生活水平的提高,高效环保节能的供热和制冷空调已成为城镇居民的基本生活需求,市场前景很好。另外,由于形式多样,安装灵活,地源热泵将为我国中小城市,甚至广大农村人民生活质量的提高做出贡献。在地源热泵技术的应用中,尽管还有许多技术问题需要解决,但由于其技术上的优势和节能、环保、可持续发展的优点,是建筑物供暖和制冷的合理可行选择方案之一。在能源可持续发展战略中,地源热泵将倍受人们的重视与青睐。

4 对我国发展地源热泵的建议

地源热泵在我国还属于兴起阶段,有许多工作尚属空白,需要进行大量基础性研究,包括地质学、气象学和地形学的基础勘查;为了更有效地推广该技术,还应研究制定系统标准和工作技术手册。

美国与欧洲等许多国家已开发使用地源热泵许多年,他们成熟的技术经验能帮助开发我国的地源热泵市场,加快地源热泵技术在中国的运用。减少温室气体的排放,有利于全球的环境保护。因此,应加强国际间的合作,以促进地源热泵市场的开发,为改善能源结构,保护环境做出贡献。

参考文献:

- [1] Wang Jiyang. Geothermal Resources and Development in China [R]. Beijing: proceedings of 2002 Beijing International Geothermal Symposium, 2002.
- [2] John W. Lund. Worldwide Utilization of Geothermal Energy and Its Application to 2008 Olympic Games in Beijing in China [R]. Beijing: proceedings of 2002 Beijing International Geothermal Symposium, 2002.
- [3] 赵军,李新国. 二十一世纪最有效的供暖、空调技术——节能环保型地源热泵空调系统 [R]. HVACNET, 2000.
- [4] Manfred Reuss. Design of Closed Loop Heat Exchangers [R]. Germany: international summer school on direct application of geothermal energy. International Geothermal Days, 2001.
- [5] John W. Lund. Design of Closed-loop Geothermal Heating Exchangers in the U. S [R]. Germany: International Geothermal Days, 2001.
- [6] Ladislaus Rybach. Geothermal Energy: Sustainability, Environment, and the 2008 Olympic Park in Beijing, China —A Summary [R]. Beijing: proceedings of 2002 Beijing International Geothermal Symposium, 2002.
- [7] Burkhard Sanner. Drilling methods for shallow geothermal installations [R]. Germany: International Geothermal Days, 2001.
- [8] 高青,于鸣. 效率高、环保效能好的供热制冷装置——地源热泵的开发与利用 [J]. 吉林工业大学自然科学学报, 2001, (31) 2.
- [9] 寿青云,陈汝东. 高效节能的空调——地源热泵 [J]. 节能, 2001, (1).
- [10] 刁乃仁,方肇洪,过增元. 地源热泵空调系统的研究开发与应用 [J]. 应用技术, 2002, (1).

上海地面沉降得到有效控制

新华社消息 据上海市水务局的一份材料说,上海的地面沉降已得到有效控制。目前的年均地面沉降量不到历史上最高年均沉降量的10%。据这份材料说,由于采取了地下水开采的控制措施,并用地表水回灌到地下水层,上海目前的年均地面沉降量已降至约10mm,而历史上最高的年均沉降量是110mm。从1965年实施地下水人工回灌至今,累计回灌水量达到6亿 m^3 ,这期间上海积累地面沉降量仅为0.218m。专家说,这个成绩在国内沿海城市中属领先水平。

上海从1921年起出现明显的地面沉降现象,至1965年市区地面平均下沉了1.69m,这是上海历史上地面沉降最快的时期。据记载,上海从1860年开始开采地下水,至上世纪60年代初年开采量达到2亿 m^3 ,为历史最高峰。

上海是中国最早认识地面沉降危害的城市之一。1965年起对地下水开采实行控制,年开采量开始下降。虽然上世

纪90年代由于经济高速发展,地下水开采又有抬头现象,但供水管理部门及时推行了计划用水的措施,而且加快郊区的自来水制水和管网建设,在农村地区提高自来水对地下水的替代率,近年来地下水开采量逐年下降的势头较为稳定,目前年开采量已降至9635万 m^3 ,仅为历史最高年份的46%。上海还采用了向地下水层回灌的办法,使地下水位抬高,达到恢复土层弹性,控制地面沉降的目的。

据专家说,影响地面沉降的因素包括:地下水开采,市政工程建设,大型建筑物建设施工以及沿海城市特有的地质结构和地质变化。地面沉降是沿海城市的一种缓变的地质灾害,具有累进和不可逆转的特性,其影响将长期发生作用。上海濒江临海,易遭台风、暴雨、大潮以及长江和太湖流域洪水的侵袭,加之日渐明显的海平面上升趋势,控制地面沉降对上海的可持续发展而言至关重要。