

# 可再生浅层地热能资源开发利用关键技术问题

骆祖江<sup>1</sup>, 金芸芸<sup>1</sup>, 张 莱<sup>2</sup>

(1. 河海大学水文地质与环境研究所, 江苏 南京 210098; 2. 中国煤炭地质总局第一勘探局, 河北 邯郸 056004)

**摘要:**浅层地热能开发利用是一门多学科的综合技术, 涉及地质、钻探、热交换、制冷、暖通空调、建筑材料学等多学科的知识, 其关键技术问题是岩土体的热性能测试、地下换热器的优化设计、地下水渗流对地下管换热性能的影响、地下热交换场特征、浅层地热能分布规律及开发利用方式。只有在解决上述关键技术问题的基础上, 进行科学规划、合理开发、优化设计, 才能使该行业步入健康发展的轨道。

**关键词:**浅层地热能; 地源热泵; 开发利用

**中图分类号:**TE249

**文献标识码:**A

**文章编号:**1674-3636(2011)04-0401-04

## 0 引言

能源是人类赖以生存和推动社会进步的重要物质基础。长期以来, 煤炭一直作为主要能源, 在我国能源体系中占主导地位。煤炭在我国能源生产结构和消费结构中所占的比例分别为 76% 和 66%, 对我国的大气环境造成了严重的破坏。目前, 国家正在规划改变以煤为主的能源结构, 计划 2010 年以后, 煤炭在我国的能源结构中所占比重降到 60% 以下。在国家《可再生能源中长期规划》中, 到 2020 年, 可再生能源的比例要达到 15%。因此, 开发利用清洁能源和可再生能源, 寻求和推广使用替代能源势在必行。

随着我国城市化进程的推进和人民生活水平的提高, 建筑能耗占社会总能耗的比重逐年增大。建筑能耗包括采暖、空调、供热水、炊事、家电等方面的耗能。目前, 建筑能耗占当年全社会终端能源消费量的 27.8%, 以建筑采暖和空调能耗为主, 占建筑总能耗的 50% ~ 70%, 是建筑耗能的主要部分, 也是浪费最为严重和节能潜力最大的部分。由此可见, 建筑节能对全社会能源消耗的降低具有重要的作用(王少阶, 2010), 其中处于重要地位的采暖空调节能备受关注。

浅层地热能是指地表以下一定深度范围内的岩

土体、地下水和地表水中, 温度一般低于 25℃, 在当前技术经济条件下具有开发利用价值的热能(中国建筑科学院, 2005)。浅层地热能是地热资源的组成部分, 主要来自于太阳的辐射能和地球内部热能, 储量巨大, 主要赋存于地下数百米以上至地表冻土层以下的恒温带中。

浅层地热能不是传统概念的深层地热, 也不属于地心热的范畴, 而是太阳能的另一种表现形式, 同时也是地热可再生能源家族中的一员, 广泛存在于大地表层中, 它既可恢复又可再生, 是取之不尽、用之不竭的低温能源。以往这种低温能源, 属于低品位的能源(通常温度小于 25℃, 区别于石油、煤炭等一次性高品位能源), 往往被人们所忽视。

浅层地热能由于其温度较低不易提取, 而不被人们所利用。随着科学技术的进步和对自然环境影响的重视, 作为一种可再生的、清洁的、能量巨大的新型能源受到广泛的重视, 在全球范围内开始对浅层地热能利用和运用的研究。地表浅层是一个巨大的太阳能集热器, 收集了 47% 的太阳能, 相当于人类每年利用能量的 500 多倍, 且不受地域、资源等限制, 是清洁的可再生能源。地面 5m 以下土体温度全年基本稳定且略低于年平均气温, 可在夏冬季提供相对较低的冷凝温度和较高的蒸发温度。所以从热力学原理上讲, 土体是一种比大气环境更好的热泵系统的冷热源。随着制冷技术及设备的进步与

完善,成熟的热泵技术使浅层地热能(热)的采集、提升和利用成为现实。即以少量高品位能源(电能),实现低品位热能向高品位转移。在冬季,把地源介质中的热量“吸取”出来,提高循环介质温度后,供人采暖;夏季,把室内的热量取出来,释放到地源介质中去,以达到制冷的目的,同时还能实现无偿提供热水等功能。

## 1 浅层地热能的特点

可再生的浅层地热能逐渐成为采暖、空调、生活热水等建筑用能的首选。这与建筑用能和可再生浅层地热能的特点有关。

### 1.1 低品位能源

所谓热能的高低品位是针对通过热机把热量转化为机械能的能力而言的,根据热力学第二定律,温度高的热源较温度低的热源转化效率高,因此前者较后者的品位高。建筑采暖、空调等所需的热(冷)温度低于  $100^{\circ}\text{C}$ ,属于低品位能源。如果将化石燃料燃烧后产生的高品位能量用于建筑采暖、空调,不符合“温度对口、梯级利用”的热力学基本原则,存在着严重的能量浪费。

### 1.2 狭窄的温度范围

建筑空调冷冻水的温度一般为  $5^{\circ}\text{C} \sim 12^{\circ}\text{C}$ ,供热热水温度在  $45^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ ,地板供暖温度在  $40^{\circ}\text{C}$  以下。由此可见,建筑能源的温度范围非常狭窄。

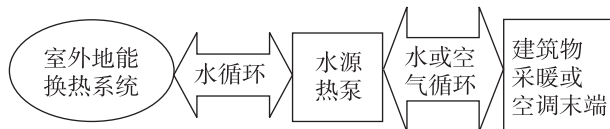
目前利用浅层地热能的主要方面是运用在建筑物的空气调节中。其方法是通过热泵技术将地下低品位的浅层低温热源提取上来加以利用。

## 2 地源热泵技术简介

地源热泵是一种先进的技术,它高效、节能、环保,有利于可持续发展。地源热泵技术利用地下的土体、地表水、地下水温度相对稳定的特性,通过消耗电能,在冬天把低位热源中的热量转移到需要供热或加温的地方,在夏天还可以将室内的余热转移到低位热源中,达到降温或制冷的目的(陈洪泳等,2002)。地源热泵不需要人工的冷热源,可以取代锅炉或市政管网等传统的供暖方式和中央空调系统。冬季代替锅炉从土体、地下水或者地表水中取热,向建筑物供暖;夏季可以代替普通空调向土体、

地下水或者地表水放热给建筑物制冷。同时,还可供应生活用水,是一种有效地利用能源的方式。

地源热泵供暖空调系统主要分 3 个部分:室外地能换热系统、水源热泵机组和室内采暖空调末端系统。其中水源热泵机主要有 2 种形式:水-水式或水-空气式。3 个系统之间靠水或空气换热介质进行热量的传递,水源热泵与地能之间的换热介质为水,与建筑物采暖空调末端换热介质可以是水或空气(马最良等,2007)。



根据室外地能换热系统换热方式不同可分为 3 类。

(1) 土壤埋盘管系统。也称地下耦合热泵系统或土壤热交换器地源热泵,包括 1 个土壤耦合地热交换器,它或水平安装在地沟中,或以 U 形管状垂直安装在竖井之中。通过中间介质(通常为水或者是加入防冻剂的水)作为热载体,使中间介质在土壤耦合地热交换器的封闭环路中循环流动,从而实现与大地土体进行热交换的目的(李小玲等,2010)。

(2) 地下水系统。即通常所说的深井回灌式水源热泵系统。通过建造抽水井群将地下水抽出,通过二次换热或直接送至水源热泵机组,经提取热量或释放热量后,由回灌井群灌回地下。

无论是深井水还是地下热水,都是热泵良好的低位热源。地下水位于较深的地方,由于地层的隔热作用,其温度随季节气温的波动很小,特别是深井水的水温常年基本不变,对热泵的运行十分有利。深井水的水温一般约比当地气温高  $1^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 地表水热泵系统。由潜在水面以下、多重并联的塑料管组成的地下水热交换器取代了土壤热交换器,它们被连接到建筑物中,在北方地区需要进行防冻处理。利用包括江水、河水、湖水、水库水以及海水作为热泵冷热源。

## 3 国内外研究现状与发展趋势

利用浅层地热能的地源热泵的研究始于 1912

年,但直到20世纪70年代初世界上出现第一次能源危机,它才开始受到重视。自此,世界各国的科学工作者就没有停止过对其进行研究和探讨,这些研究工作涉及地源热泵的系列构件、地下热交换器型式、岩土体特性和系统运行寿命周期、费用分析等方面。由于其高效的节能效益和优良的工作性能,在日本、北美及中欧、北欧等国家得到了广泛的应用。

在中欧、北欧国家,地源热泵主要用于室内地板辐射供暖和提供生活热水,尤其是瑞士,在家用供热装置中,地源热泵所占的比例很大(郑敏,2007)。

我国在该领域的研究才刚刚起步,到20世纪80年代末才有少数单位先后开展这项工作。但是受国际大环境的影响以及地源热泵自身所具有的节能和环保的优势,这项技术受到了国人越来越多的重视,该方面的研究也日益活跃,近几年更是取得了突破性的进展。中国面临着巨大的能源压力,经济在保持较高速度增长的同时,必须考虑环保和可持续发展问题。所以要求提高能源利用率,要求能源结构调整。调整能源结构的方向就是从以煤为主转为以燃气、电为主。中国政府已于1997年与美国政府签订热泵技术引进协议;国家建设部1999年提出在10年内建筑节能效率要在现有基础上提高50%;近5年来,北京市政府已改造了1 000万 $\text{m}^2$ 的供暖面积,使用清洁能源,建成的浅层地热能资源开发利用项目已达500多项。

“十二五”规划中明确提出要推进能源多元清洁发展,积极发展太阳能、生物质能、地热能等其他新能源,促进分布式能源系统的推广应用。坚持把建设资源节约型、环境友好型社会作为加快转变经济发展方式的重要着力点。深入贯彻节约资源和保护环境基本国策,节约能源,降低温室气体排放强度,推广低碳技术,促进经济社会发展与人口资源环境相协调,走可持续发展之路。

## 4 关键技术问题

作为一项结合地质、钻探、热交换、制冷、暖通空调、建筑材料学等多学科知识的技术,影响地源热泵系统性能的因素是多方面的。根据目前已有的实例分析,其关键技术是地下换热器的优化设计、岩土体热性能研究、回填材料的研发和供暖制冷系统的合理配置。

### 4.1 岩土体热性能研究

地源热泵系统的性能与岩土体性能是紧密相关的,岩土体环境中热源的最佳间隔和深度取决于岩土体的热性质和气象条件,并且是随地点而变化的。研究地源热泵所应用地区的岩土体环境温度和热流性质是地源热泵系统成功使用的前提,也是进行地源热泵方案设计的基础。

岩土体的性能研究主要包括岩土体的能量平衡、热工性能、岩土体中的传热与传湿和环境对岩土体热工性能的影响等。岩土体的热工性能、岩土体热参数一般是指定容比,取决于岩土体的热性质和气象条件,并且是随地点而变化的。研究地源热泵所应用地区的岩土体环境温度和热流性质是地源热泵系统成功使用的前提,也是进行地源热泵方案设计的基础。岩土体的性能研究主要包括岩土体的能量平衡、热工性能、岩土体中的传热与传湿和环境对岩土体热工性能的影响等。岩土体热参数一般是指定容比热 $C$ 、导热系数 $\lambda$ 和热扩散度 $D_r$ ,为了解温度随时间和空间的变化规律,必须测量或计算这3个参数的值。

### 4.2 地下换热器优化设计

地下换热器的设计合理与否直接影响到地热利用效率和投资成本,是当前闭式地源热泵技术推广的难点。采用紊流技术提高热传导效率,可以达到节约钻孔数,结合优化的地下换热器的类型、数量,可以降低投资成本。

### 4.3 地下水渗流对地下管换热性能影响的研究

地埋管换热器中的传热是管内流体与周围固体岩土之间的换热,设置在不同场合的埋管式地埋管换热器将涉及不同的地质结构,包括各地层的地质、含水量和地下水的运动等,这些都会影响到地埋管换热器的传热性能。

### 4.4 地下热交换场模型研究

目前,国内外关于地埋管换热器的传热模型都是基于纯导热的模型。虽然很多研究者和工程技术人员认识到地下水渗流可能对地埋管换热器的传热产生重要的影响,也提出过一些定性的分析,但是由于该问题的复杂性,至今很少见到深入的理论分析。实际上在研究区存在着地下水的渗流,即使是速度很小的地下水渗流也有把地下累积的热量以对流的方式带走的效应,因此有利于地埋管换热器的传热和减弱或消除地埋管换热器吸放热不平衡的现象。

根据多孔介质中有渗流时的能量方程,建立有渗流时线热源引起的三维瞬态的温度响应数值模型,并开发出相应的模拟计算软件,可以很方便地分析各影响因素之间的定性和定量关系,据此,可以对区域性浅层地热能的开发进行优化规划。

#### 4.5 浅层地热能分布规律及开发利用方式的研究

在研究区内可利用的浅层地热能赋存形式多样化,几乎涵盖了地源热泵系统所有的类型,通过对地质、水文地质及地表水水文条件的研究,对其最佳使用条件和提取方式进行科学分区,为合理利用浅层地热能提供依据。

## 5 结 语

浅层地热能开发利用在我国尚属起步阶段,它是一门涉及多学科的综合技术,在目前国际社会和国家大力提倡开发利用清洁能源和可再生能源的背

景下切忌一哄而上,应在区域地热能资源调查评价的基础上,进行科学规划、合理开发、优化设计,只有这样才能使该行业步入健康发展的轨道。

#### 参考文献:

- 中国科学院. 2005. 地源热泵系统工程技术规范[M]. 北京:中国建筑工业出版社.
- 王少阶. 2010. 发展低碳建筑 推动建筑节能[J]. 建设科技, (4):20-21.
- 陈洪泳,殷琨,庄迎春. 2002. 地源热泵技术及其发展[J]. 世界地质,21(2):203-207.
- 马最良,吕悦. 2007. 地源热泵系统设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社.
- 李小玲,马贵阳. 2010. 土壤源热泵单U型埋管换热器短期运行换热分析[J]. 辽宁石油化工大学学报,30(1):51-54.
- 郑敏. 2007. 全球地热资源分布与开发利用[J]. 国土资源, (2):56-57.

### Key technical problems on renewable shallow geothermal energy development and utilization

LUO Zu-jiang<sup>1</sup>, JIN Yun-yun<sup>1</sup>, ZHANG Lai<sup>2</sup>

(1. Institute of Hydrogeology and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. The First Exploration Bureau, CNACG, Handan 056004, Hebei )

**Abstract:** Shallow geothermal energy development and utilization was a multidisciplinary technology which covered geology, drilling, heat exchange, refrigeration, HVAC, building material science and other disciplines. The key technical problems included thermal behavior testing of soil, optimal design of underground heat exchanger, the impact on heat transfer performance of underground pipe by groundwater seepage, the characteristics of underground heat exchange field, the distribution of shallow geothermal energy and the way of development and utilization. Only on the basis of solving the above key technical issues, scientific plan, rational development and optimization design could be carried out, and promoted the industry into a healthy development orbit.

**Keywords:** Shallow geothermal energy; Ground source heat pump; Development and utilization