doi:10.3969/j.issn.1674-3636.2011.03.307

浅层地热能勘察和评估应用研究

汤国毅[1]，杜国平[2]，王卫国[1]，宋晓峰[2]，严　刚[1]

（1.江苏南京地质工程勘察院，江苏　南京　210041；2.南京帝坝工程科技有限公司，江苏　南京　210061）

摘要：对浅层地温能工程场地进行勘察和应用条件评估是地源热泵系统方案设计的重要环节。以南京板桥地产浅层地热能勘探应用为例，介绍多功能地下水能量测井仪的功能及其在浅层地热能勘探中的应用，探讨水文地质前期勘探工作对浅层地热能资源开采的作用与意义。该测井仪能够在单井中，一次性完成对浅层地热能参数：地下水的水量、温度、电导、各含水层的静水头高度、储水量、地下水的水平和垂向运动流速和方向、地层渗透系数、导水系数等的定量测量，查明地下水的层间补给关系，为热泵选型、埋深和分布密度提供平面矢量、垂向断面高程等多种高精度参数。

关键词：地热能；能量测井；地下水；江苏南京

中图分类号：TK5；P314　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－3636(2011)03－0307－04

0　引　言

浅层地热能的利用，主要是通过热泵技术的热交换方式，经济开采深度一般小于200m（陶庆法等，2007）。热泵技术的不断完善与广泛应用，为浅层地热能的开发利用提供了条件。浅层地热能的开发利用必须建立在地质勘查评价工作的基础之上，对浅层地热能开发利用的可行性、适宜性及开发利用容量进行评价，因地制宜制定开发利用方案，从而为热泵的选型（是地埋管地源热泵、地下水型地源热泵还是地表水地源热泵）、埋深和分布密度提供科学数据。

本工程现场位于南京市板桥新城南京朗诗绿色街区，北靠湖景路，南临八号路。初步拟定采用地埋管地源热泵系统，勘察评估内容主要包括：岩土体结构分布、温度分布、水文条件及热物性参数等。此次勘察评估有针对性地在地温空调井工地选择了3个地质钻孔，进行现场测试，其目的主要为查明该处地下100m以浅的地层结构，水文地质现状及对地温空调井的影响等。以现场实测数据为设计、决策和管理提供依据。

1　多功能地下水能量测井仪

多功能地下水能量测井仪集现代化核探测技术、航空定向技术与水文地质测量技术于一身，不用标记电缆，探头中的压力传感器能自动识别各项测量指标的测量深度，将测量结果送入笔记本电脑。它的特征是建立在伯努利能量方程和质量守恒定律基础之上，利用软硬件与计算机的集成，通过测量探头中的GPS定位，把压力传感器、温度热敏元件、盐分敏感电极、G-M计数管、电子陀螺等组成的多功能地下水能量测井仪，在单井中测量出地下水的温度、电导、水位、容重、密度、压能、势能、动能等水的质点运动流速和矢量。适用于孔隙、裂隙和溶隙地下潜水及承压水的多测点、高精度的地下水测量。从而为浅层地热能的温度、电导、地下水的流动等参数的定量化提供技术上的支持（杜国平等，1996、1999、2000、2002）。其参数的测量精度高，自动化程度好，测量项目齐全，工艺简单，使用方便，安全可靠（图1）。

2　测孔基本概况

野外试验钻孔3个，总进尺300m，其中岩层进

收稿日期：2011－04－10；**修订日期**：2011－05－09；**编辑**：侯鹏飞

作者简介：汤国毅（1968—），男，高级工程师，长期从事水工环工程勘察及技术管理工作，E-mail：tgy1968@126.com

尺 224m,土层 76m。3 个测孔的基础数据分别见表 1 和图 2。

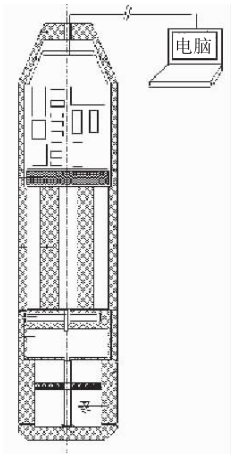


图 1 多功能地下水能量测井仪示意图

3 测量结果

3.1 天然渗流场测量结果

所谓天然渗流场是指 3 个测孔测试时所处的地形地貌等环境条件,其中 JK4 孔在 B 地块东侧山坡边缘,JK1 孔位于 A 地块中部,JK2 孔位于 A 地块东侧基坑中。受场地的基岩埋深及地形等地质条件的影响,基岩裂隙水在场地中的分布呈现出西高东低的特点,其中,JK4 孔水位高程为 15.90m,JK2 孔的水位高程为 9.90m。在这种情形下对孔中地下水的渗透流速(指基岩裂隙水水平渗透流速,以下均简称渗透流速)和矢量值进行测量。各测孔渗透流速沿孔深度的分布数据见图 3 曲线,图 3 为渗透流速沿孔深分布曲线。

表 1 测孔数据统计表

孔号	孔位	地面高程/m	孔口高程/m	钻孔深度/m	孔水位高程/m	套管深度/m
JK4	山边	16.44	16.64	100	15.90	19
JK2	基坑	12.36	12.66	100	9.90	28
JK1	平台	16.41	16.41	100	12.35	29

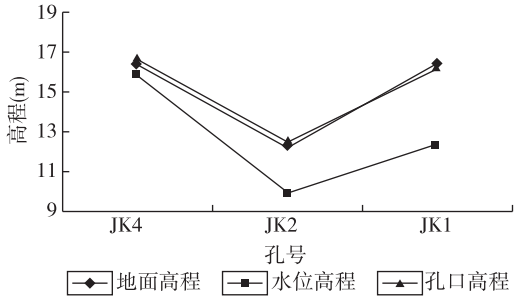


图 2 测孔高程曲线

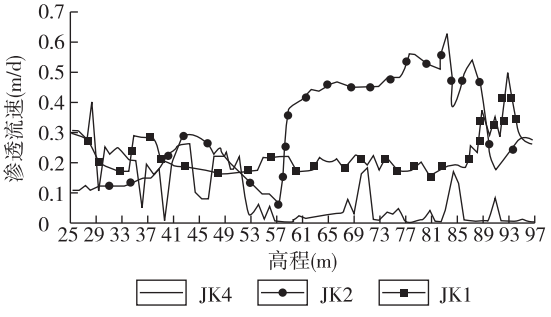


图 3 JK1、JK2、JK4 3 孔渗透流速沿孔深分布曲线

从 3 孔在同一深度的渗透流速比较分析,自 25m~50m 各孔在风化基岩面前端部分的渗透流速值保持在比较接近的数据中跳动。但是,在50m以下的各孔渗透流速值出现了较大的差异,其中 JK2 的数值跳到最大,JK1 居中,JK4 最小,说明离基坑越远,其基岩的完整程度越好。经计算,得出该 3 孔控制断面内的渗流量为 5 364m^3/d。

JK2 位于正在施工的基坑里,该孔的测量数据在钻孔机械停机 1h 后开始测量,数据显示该孔不但渗透流速较其他 2 个孔大,而且在 75m~90m 之间还有 1.8m/h 向上的垂向流产生,经现场测量计算,发生在该段的静水头高度为 2.25m,它是产生向上垂向流的源头。

流速矢量图(图 4)反映了 3 孔之间的相对位置、渗透流速的运动方向以及渗透流速矢量的大小。

3.2 渗透系数测量结果

渗透系数是工程设计、施工、质量管理中使用最多的参数。图 5 中沿高程分布数据清楚地反映出 3

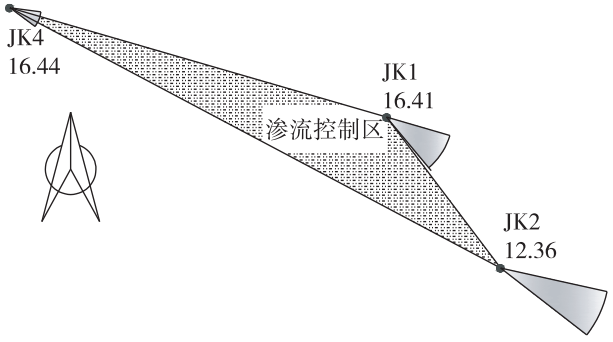


图 4　JK1、JK2、JK4 3 孔流速矢量平面示意图

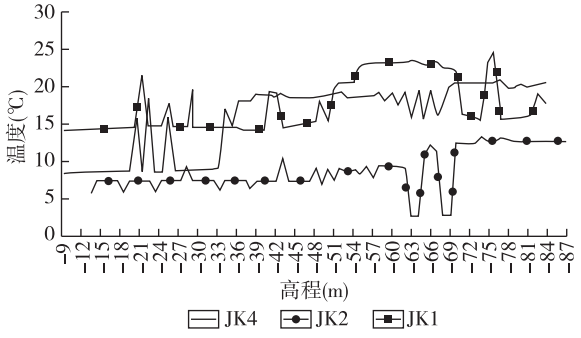


图 6　JK1、JK2、JK4 3 孔温度测量值沿高程分布曲线

个测孔水体在不同位置高度的渗透特性指标。区域测量中各孔平均渗透系数从大到小的排序是 JK2 孔 5.27m/d、JK1 孔 0.94m/d、JK4 孔 0.13m/d。从 3 个钻孔沿高程的渗透系数变化特征分析水文特征层及岩芯完整程度:水文特征层大致可以分为上下两层;岩芯完整程度 JK4 的完整程度最好(近乎完好),JK1 居中,JK2 最差。

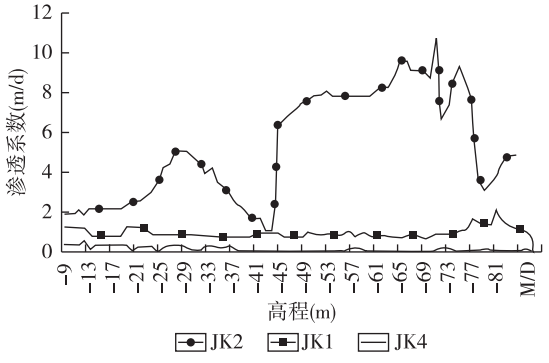


图 5　JK1、JK2、JK4 3 孔渗透系数沿孔深分布曲线

3.3　温度测量结果

浅层地热能开发的一个重要指标是要了解地下的温度变化情况,只有全面了解地温在平面与垂直面上分布情况之后,才能在开发和利用地下热能设计时避免盲目性,提高可靠性。各测孔的具体测量数据见图 6。

从平面上看,3 孔的平均温度分别为:JK1 孔 18℃,JK2 孔 9℃,JK4 孔 17℃。而从高程上分析,JK1 孔的地下水以补给热源为主,因为它是正弦跳动的曲线,而 JK2、JK4 2 孔的曲线跳动,有正也有负,特别是 JK2 孔更为显著。由于 JK2 孔受施工的干扰较大,反映的渗流情况不够全面。

3.4　电导率测量结果

图 7 是 3 个测孔沿孔深的电导率分布曲线,3 孔的平均电导率 JK1 为 1 198s/cm,JK2 为 821s/cm,JK4 为 543s/cm;JK1 孔的地下水矿化度最高、JK2 居中、JK4 最小,说明 JK4 的水质最好、JK2 其次、JK1 最差。但是,从高程上看,3 个孔底部的电导率很接近,佐证该区域在 90m 以下深度水质都比较好。

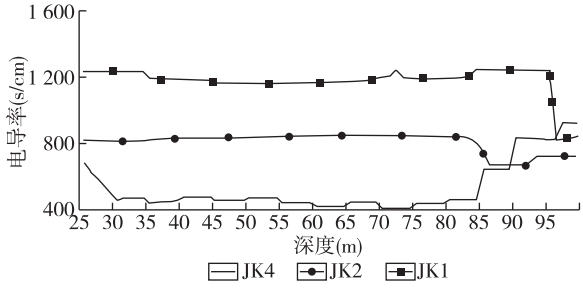


图 7　JK1、JK2、JK4 3 孔电导率沿深度分布曲线

4　综合分析

通过对现场的 3 个测孔所进行的可视化测量,及对其数据进行综合分析、计算、整编工作,得出如下测试成果。

(1)3 孔渗透流速数据反映其测量区段内的垂直断面(长 240m,高 75m,平均渗透流速 0.21m/d)上的平均渗流量为 5 364m^3/d(图 3)。

(2)地下水流速矢图反应 3 孔的地下水运动方向基本一致,水流的主流方向以西南方向流速为主(图 4)。

(3)3 测孔除 JK2 有垂向流速外,其余 2 孔未测量出有垂向的水流运动。JK2 向上的垂向流速为 1.8m/h,下层向上层的补给流量为 0.339m^3/d,下层水的静水头高度 2.25m。其孔中漏水段主要发生深度在 75m ~ 90m 之间(图 3)。

(4)3 个钻孔在高程上的渗透特征显示,JK2 和

JK1 2 孔呈上下两层水的渗透特性,而且在 JK2 孔尤其明显,而 JK4 孔的下层水不甚明显。

(5)现场测量期间,各孔渗透系数的平均值:JK2 孔为 5.27m/d,属透水层;JK1 孔为 0.94m/d,属弱透水层;JK4 孔为 0.13m/d,属弱透水层(图 5)。

(6)温度测量结果显示,3 孔的平均温度:JK1 为 18℃,JK2 是 9℃,JK4 为 17℃;垂直温度以 30m 深度为界,以上为渐变区,以下为稳定区(图 6)。

(7)3 测孔沿孔深的电导率分布曲线表明,3 孔的平均电导率:JK1 为 1 198s/cm,JK2 是 821s/cm,JK4 为 543s/cm;JK1 孔的地下水矿化度最高,JK2 居中、JK4 最小,说明 JK4 孔的水质最好、JK2 其次、JK1 最差(图 7)。

5 结 语

对工程场地的浅层地温能进行勘察和评估是地源热泵系统方案设计前必须完成的一项重要工作。而勘察和评估主要应查明场区水土结构与分布,地下水的温度、水位、水质、水位变化、流速流量等项目。常规勘查须采用多种方法、多个环节、并需要大量时间才能完成以上任务,且因各种因素的影响往往使测得的参数有误。利用“多功能地下水能量测井仪”在单井原位状态下,能一次性完成对浅层地热能的地下水的水量、温度、电导,地下水的层间补给关系,各层的静水头高度、储水量,地下水的水平和垂向运动流速和方向、渗透系数、电导率等的定量测量。在原始状态下测得的数据避免了各类外界条件的影响,更为准确合理,为确定热泵型式、埋深和分布密度提供科学数据。南京板桥新城、南京朗诗绿色街区地源热泵的系统方案设计充分利用了本次测量成果,对地埋管地源热泵系统设计进行了优化,设计方案更趋合理,避免了盲目性,节约了成本,综合效果明显。

参考文献:

杜国平,陈建生,刘怀成,等. 1996. 乌溪江水电厂右坝绕坝渗流的同位素示踪应用研究[J]. 武汉水利电力大学学报,29(3):24 – 29.

杜国平,曹维仁. 1999. 坝(堤)安全检渗与示踪诊断技术的应用[J]. 江苏水利,(11): 29 – 30.

杜国平,郑喜莲,王律,等. 2000. 航空定向技术在地下水流速流向中的应用研究[J]. 航空航天大学学报, 32(4):483 – 486.

杜国平,金宇东,袁昶,等. 2002. 镇杨大桥北锚水文地质单井示踪应用研究[J]. 水文地质与工程地质,29(3): 29 – 31.

陶庆法,胡杰. 2007. 浅层地热能开发利用现状、发展趋势与对策[J]. 地热能,(2):5 – 10.

GB/T 50366—2005,地源热泵系统工程技术规范[S].

Application study on shallow geothermal energy exploration and evaluation

TANG Guo-yi[1], DU Guo-ping[2], WANG Wei-guo[1], SONG Xiao-feng[2], YAN Gang[1]

(1. Jiangsu Nanjing Geological and Prospecting Institute, Nanjing 210041, China; 2. Nanjing Diba Engineering Technology Company Ltd, Nanjing 210061, China)

Abstract: Shallow geothermal energy for engineering site investigation and application conditions for ground-source heat pump system assessment was an important part for program design. The shallow geothermal energy exploration and application in Banqiao area of Nanjing was taken as an example, where “multi-functional water logging of energy” function and its use in the shallow geothermal energy exploration, hydrogeology preliminary exploration of the shallow geothermal energy were presented. The single well logging tool could one-time achieve the test of shallow geothermal energy parameters: groundwater water, temperature, conductivity, the aquifer's hydrostatic head height, storage capacity, horizontal and vertical movement of groundwater velocity and direction, formation permeability coefficient, hydraulic conductivity coefficient of the quantitative measurement, to identify the layer of groundwater recharge for the heat pump selection, depth and density to provide plane vector, elevation and other high-precision vertical cross-section parameters.

Keywords: Geothermal energy; Energy logging; Groundwater; Nanjing, Jiangsu