

doi: 10.11720/wtyht.2014.6.13
陈进宝, 苏金宝, 陈娟, 等. 物探方法在江苏赤山湖地热井勘探中的应用[J]. 物探与化探, 2014, 38(6): 1172–1175, 1185. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.13>
Chen J B, Su J B, Chen J, et al. The application of geophysical prospecting methods to geothermal well exploration of Chishanhu area, Jurong City, Jiangsu Province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(6): 1172–1175, 1185. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.13>

物探方法在江苏赤山湖地热井勘探中的应用

陈进宝¹, 苏金宝², 陈娟³, 张作宏¹, 杨春光⁴, 曹勇⁴

(1. 江苏省地质勘查技术院, 江苏 南京 210008; 2. 河海大学 地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018; 4. 句容市赤山湖管理委员会, 江苏 句容 212433)

摘 要: 在水文地质条件较差的江苏赤山湖地区, 采用 CSAMT、微动勘探方法寻找地热构造, 结合已有的重力、电测深资料及地质、钻孔资料, 综合分析、研究 2 500 m 深度内地层岩性结构、热储埋深、断裂位置等地热地质和水文地质条件, 最终选定了最佳地热井位, 钻探结果: 出水量 500 m³/d, 水温 55 ℃。
关键词: CSAMT; 微动测深; 水文地质; 地热; 地下水; 断裂构造; 热储构造; 江苏赤山湖
中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2014)06-1172-04

地下热水集热能、水和矿产于一体, 用途广泛。对华南的地热资源, 过去曾作过一系列的调查^[1-3]。地温梯度异常高区主要分布在华南的西南部如云南腾冲及东南的福州、漳州地区, 地温梯度高达 70 ℃/km 以上; 地温梯度较高的地区有南宁—海南以及苏北盆地, 地温梯度在 30 ℃/km 以上^[4]; 华南其他地区地温梯度相对较低, 平均在 24.4 ℃/km^[4]。赤山湖位于江苏省句容市境内, 平均地温梯度仅为 22.4 ℃/km。句容南部(包括赤山湖地段)水文地质条件较差: 松散层富水性差, 孔隙潜水单井涌水量不足 10 m³/d; 基岩孔隙裂隙水亦匮乏, 白垩系赤山组(K_{2c})、浦口组(K_{2p})以及葛村组(K_{1g})地层软弱且泥质含量高, 断裂构造裂隙极易被泥质充填, 导水、储水条件不良, 单井涌水量低。在此地区成功开采地热资源, 无疑对充分开发旅游资源, 进一步挖掘、提升该地区土地的经济价值具有重要意义, 同时对华南贫水区找水有重要的参考价值。

1 研究区地质、地球物理特征

句容地区位于下扬子苏南隆起区西部, 北至宁镇隆起, 东抵茅山推覆体, 是一个晚侏罗至白垩纪的断拗盆地^[5]。地矿、石油、煤炭等不同部门在句容

地区已钻各类井近百口, 仅有几口井, 如容 2 井、容 3 井、句 12 井在古生界裂缝获得低产工业油流^[6]。赤山湖地区与容 2、容 3 同受中生代构造影响, 恰位于句容—葛村隆起带上, 赤山玄武岩的喷出说明存在深部断裂结构, 这些为句容寻找地热水提供了有利条件。

赤山湖地区的地质工作, 尤其是地面物探工作程度相对较低, 物性资料相对匮乏, 搜集到的电性资料为 1: 20 万常州幅水文地质报告附件(物探简报), 其来源于煤田队和石油队的测井资料, 密度参数来自江苏省地质勘查技术院 1992 年提交的“江苏省溧水地区 1: 5 万重力测量工作报告”。

该区从第四系到侏罗系, 地层电阻率值普遍较低(10~60 Ω·m), 第四系中粗砂层和砂砾层以及第三系玄武岩的电阻率虽呈明显高阻(160~280 Ω·m), 但第四系地层在本工区内较薄, 不能与 K_{2c} 区分形成明显独立的电性层位, 第三系玄武岩仅分布于赤山山体上部, 对本次工作影响不大。需要说明的是, K₂(K_{2c}、K_{2p})虽然未加区分, 但由于 K_{2c} 泥质成分含量较高, 其电阻率值往往低于 K_{2p}, 且其埋深较浅, 易于区分, 侏罗系沉积地层的电阻率与 K_{2p} 差异较小且埋深较大, 不易区分。二叠系灰岩电阻

率(200~400 Ω·m)明显高于其他地层一个数量级,是本区的高阻标志层。

区内与本次工作相关的地层岩性(暗色)密度变化规律为:三叠系灰岩>侏罗系(早白垩 K_1d+K_1l)火山岩>晚白垩系砂岩>第四系松散层,其中,三叠系高于侏罗系 $0.2\times10^3\text{ kg/m}^3$,侏罗系又高于晚白垩系 $0.15\times10^3\text{ kg/m}^3$,可形成较明显的两个密度界面;尤其二叠系灰岩在稍具规模时或埋深较浅时,可形成明显重力高异常,晚白垩系当厚度较大时则将明显形成重力低异常,第四系由于厚度较薄对重力异常几乎没有影响。

区内常见岩石的纵波速度的变化规律为:石灰岩(2 500~6 100 m/s)>白垩系(1 800~3 500 m/s)>疏松层(300~900 m/s),差异明显。纵波速度虽不等于微动测深的视S波速度,但它们基本上呈正相关关系,一定条件下,存在利用波速差异区分它们的可能。

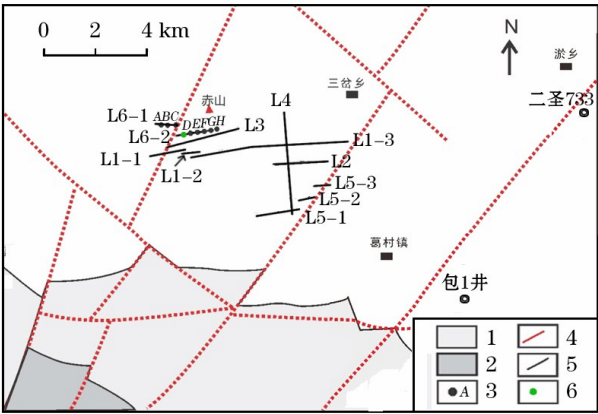
2 工作方法技术

可控源音频大地电磁法(CSAMT法)是浅层地球物理勘探的主要手段之一^[7-13]。本次CSAMT测深采用加拿大产V8电法系统,包括发电机组、发射机和接收机三个部分。接收机由V8和两个RXU(辅助采集站)组成,发射机为TXU-30(20 kW),发电机组是德国进口30 kW的24GF型柴油发电机组,最高电压1 000 V($I=20\text{ A}$),最大电流40 A($V=500\text{ V}$)。

微动是一种由体波(P波和S波)和面波(瑞雷波和拉夫波)组成的复杂振动,并且面波的能量占信号总能量的70%以上。微动勘探方法就是以平稳随机过程理论为依据,从微动信号中提取面波的频散曲线,通过对其反演获得地下介质的横波速度结构,供地质解释用^[14-16]。微动测深法采用日本MTKV-1C型微动勘察仪系统,共投入9台(套),微动观测采用各点独立观测方式进行。时间校正由记录仪内置GPS自动完成。

CSAMT法共布置了6条测线,其中近东西向测线5条,即L1(又分为L1-1、L1-2、L1-3)、L2、L3、L5和L6(又分为L6-1、L6-2)线,近南北向测线一条,即L4。在前期CSAMT法取得初步成果的基础上,充分考虑到业主的客观要求,布置了一条微动测线即WD1线,位置与L6线基本重合,共计9个点,最大观测半径400 m,勘探深度达2.5 km。图1给出了该区的物探工作布置。

成果解释以CSAMT反演电阻率剖面图、微动



1—白垩统;2—侏罗系;3—微动测深点;4—推测断裂;5—CSAMT测线;6—井位

图1 赤山湖地区地层构造区划及物探工作布置

测深剖面图及以往物探成果为依据,结合地质、钻孔资料分析划分层位,判读异常特征,辨别真伪,区分真假异常以达到探测断裂构造和地热储层的目的。

3 成果解释

3.1 CSAMT 成果

各条测线的断面异常特征基本相同,即垂向上基本分为浅部低阻异常、中部低阻向高阻过渡的梯度带异常和深部高阻异常,水平方向上为电阻率梯度带异常或局部低阻异常,这些异常大致反映了区内地层及断裂构造的分布情况。

以L6线为例。图2给出了L6线的测深反演电阻率断面图,由于施工条件所限,该测线分为L6-1和L6-2两段。可以看出,该剖面反映的 K_2c 底板深度约为600 m,而印支面的深度约为1 400 m。在剖面的1 500 m(L6-1线)和3 200 m(L6-2线)处分别存在向西微倾、近于漏斗状的低阻异常,推断为含水构造破碎带引起,异常编号分别为F6-1、F6-2。该两条断裂具有切割深(2 000~2 500 m)、产状陡(倾角 80° 以上,倾向南西西)的特点。

综合各测线的CSAMT测量结果可以看出,在深600~700 m范围内,明显存在一似水平状电阻率梯度带,结合测区西部已有的734号钻孔441 m尚未穿透赤山组的事实,以及赤山组相对低阻的电性特征和万米电测深 $AB/2=1\,500\text{ m}$ 的 ρ_s 平面成果^[17],推测其为上部赤山组(K_{2c})与下部浦口组(K_{2p})的分界面。同时,注意到在1 400 m深度上存在电阻率值明显升高的现象,结合句容附近已有196-2等钻孔在深度400 m左右见到三叠系青龙组及以老地层(T+Z)、葛村附近包一井在深度1184m

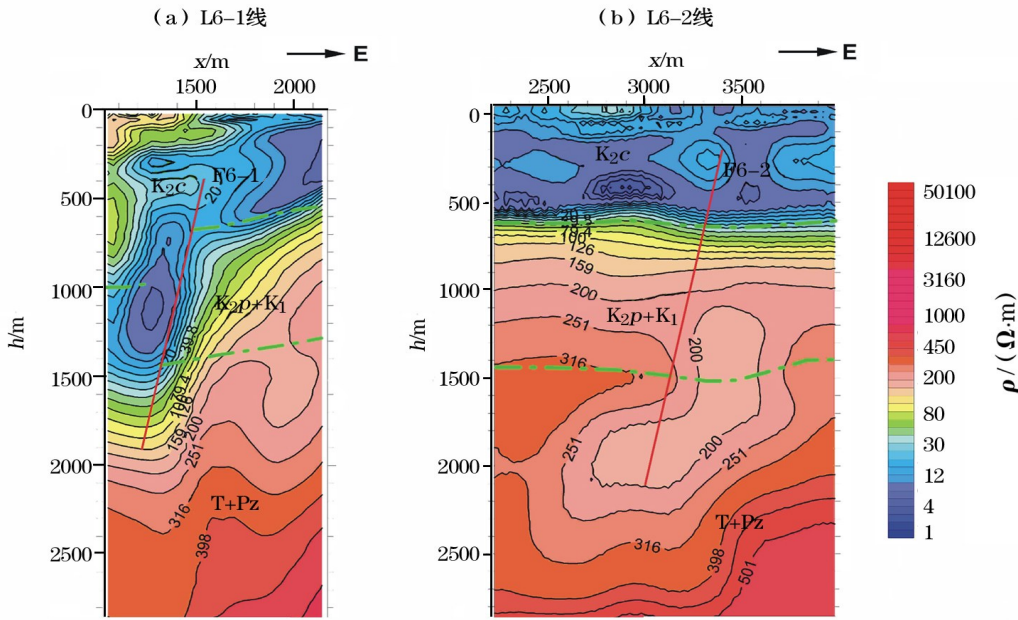


图 2 赤山湖地区测线 L6-1(a)、L6-2(b) CSAMT 测深二维反演电阻率断面

见到二叠系栖霞组的实际情况,考虑到青龙组、栖霞组均为灰岩,其电性明显高于碎屑岩类一个数量级以上以及万米电测深 $AB/2=3\,000\text{ m}$ 的 ρ_s 平面成果^[17],推测该深部的高阻异常应为三叠系以及老地层的反映,其上部界面(1 400 m)为印支侵蚀面的可能性较大。在 600 m 和 1 400 m 两个界面之间的电阻率异常过渡带主要应为浦口组、葛村组、龙王山及大王山组(K_2+K_1)的综合反映。总体看,上述两个界面即 K_2c 底板及 Ts 顶板(印支面)自西向东逐渐升高变浅,与已有区域上的重力资料西低东高的异常特征极为吻合^[17]。

3.2 微动测深成果

经过对微动测深各测点数据成果的正反演计算,获取了较为精确的 S 波的速度结构及视 S 波速度彩色剖面,直观地反映了区内地层的岩性及构造变化。

本测区设置 5 层速度结构模型,通过各层深度和速度联合反演,拟合实测频散曲线,获得各点 S 波速度结构。9 个测点的频散曲线见图 3,不难看出有几个特点:在 $f>2\text{ Hz}$ 区间, A、B、C 三点的相速度明显低于其余各点,表明这三点之下从地表至 200 m 深度范围内的岩性明显比其余各点松散(软弱); A 点在频率范围 0.4~0.7 Hz、C 点在 0.4~0.8 Hz、H 点在 0.6~2 Hz 间,都具有较低的相速度,且与相邻测点相速度差异明显,表明这三个点下方深部存在岩性异常。

本区近地表地层(第 1 层)的 S 波速度已接近 1 km/s,越靠近赤山方向,近地表地层的 S 波速度增

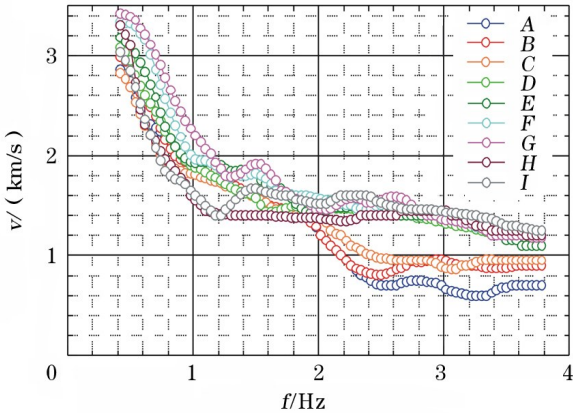


图 3 测区微动测深各测点频散曲线

加。在 2.5 km 深度范围内地层有 5 个 S 波速度分界面,第 1 层底界面深度 115~205 m,其 S 波速度差异较大,其余层位底界面深度变化较大,但 S 波速度差异较小。

3.3 地质、物探成果应用

微动测深的 A、C、H 点的速度界面与 E、F、G 三点相比明显下沉变深,低速异常明显,估计为岩层断裂破碎跌落引起;C 点的低速带位置与 CSAMT 法的 L6-2 线的低阻异常位置相近(图 2b),进一步证实了依据 CSAMT 法推断的 F6-2 断裂存在的可能。本次推测的两条断裂 F6-1、F6-2 切割较深,超过 2 km,与北北东向的湖熟盆地与句容凸起相交,利于与深部热源的沟通,为本区控热储水构造的可能性较大。

从相距不远的包一井所测大地热流值为 84.5 mW/m²,二圣 733 井所测大地热流值为 69.3 mW/

m²,远高于苏南地区平均值 50~60 mW/m²,显示了明显的地热异常,证实了深部热源的存在。根据本次物探成果,推测在 1 400 m 以浅部位可能存在大王山组(K₁d)与龙王山组(K₁l)的火山碎屑岩,其比砂岩、砂砾岩、泥岩等岩性硬脆,构造裂隙相对发育,而在 1 400 m 以深部位为中、古生代灰岩地层(T+Pz),其构造裂隙更加发育;若推断正确,它们都将是本区很好的地热储层。

基于以上分析,认为本调查区在“源、通、储、盖”四个方面基本具备了形成地下热水的地热地质条件,即大地热流较高,为本区的地下热源,F6-1、F6-2 断裂及其附近发育的裂隙为本区的热源通道和储水构造,保温盖层为区内遍布的白垩系沉积地层,热储类型为裂隙型带状热储。

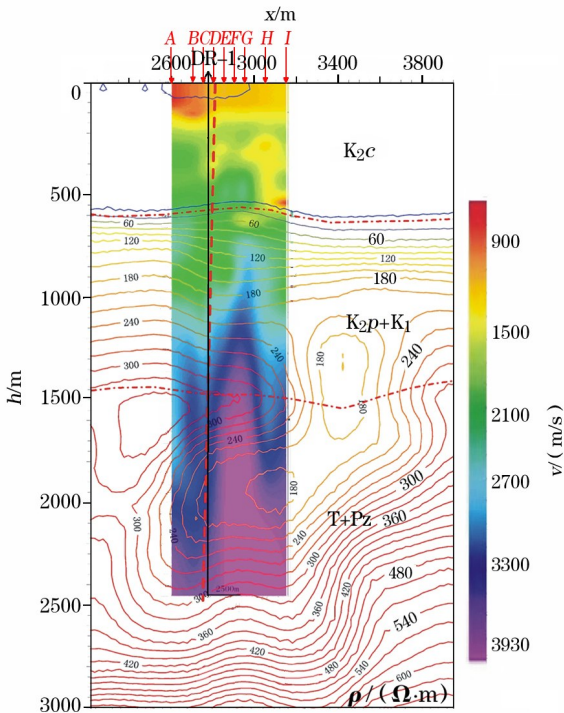


图 4 L6-2 线物探综合解释剖面

根据上述分析,综合考虑 CSAMT 与微动测深成果,布设验证孔位 DR-1 井在 L6-2 线 2 750 m 附近(图 4),微动测深点的 C、D 之间。DR-1 井在施工中,在井深 1 650~1 700 m 处遇储水层,水温 55℃,单井日产 500 m³,达到预期标准。

4 结论与建议

通过本次地质、物探工作结合前人研究成果分析,推测了 F6-1、F6-2 两条断裂构造,与区域上湖熟次凹与句容凸起构造线相交关系密切,利于储水、聚

热,推断其为本区较好的控热储水构造。本区在“源、通、储、盖”四个方面基本具备了形成地下热水的地热地质条件,热储类型为裂隙型带状热储。在设计孔位成功钻井出水,达到预期效果。

本区所处贫水地层区域,有多孔干井实例,能在此成功获得地热水,需要地质与物探综合考虑。建议针对地质实际情况,在进行可行性分析后再进行物探方法分析,这样才是优质勘探。

参考文献:

[1] 马力,陈焕疆,甘克文,等,中国南方大地构造和海相油气地质[M].北京:地质出版社,2004.

[2] 王钧,黄尚瑶,黄歌山,等,中国地温分布的基本特征[M].北京:地震出版社,1990.

[3] 胡圣标,何丽娟,汪集旻,等,中国大陆地区大地热流数据汇编,第三版[J].地球物理学报,2001,44(5):611-626.

[4] 袁玉松,马永生,胡圣标,等,中国南方现今地热特征[J].地球物理学报,2006,49,1005-1014.

[5] 江苏省地矿局.江苏省及上海市区域地质志[R].1984.

[6] 王小群.句容地区 SK1 井盖层封闭性研究[J].海洋石油,2003,23:21-26.

[7] 徐光辉,黄力军,刘瑞德.应用可控源音频大地电磁测深于北京水文地质勘查[J].物探与化探,2005,29(6):523-525.

[8] 万明浩,王家林,吴健生,等.江苏句容—常州地区综合地球物理研究[J].地球物理学报,1993,36:791-797.

[9] Wannamaker P E. Tensor CSAMT survey over the sulphur springs thermal area, Valles Caldera, New Mexico, U.S.A., Part I: Implications for structure of the western caldera[J]. Geophysics, 1997a, 62(4): 451-465..

[10] Wannamaker P E. Tensor CSAMT survey over the sulphur springs thermal area, Valles Caldera, New Mexico, U.S.A, Part Part II: Implications for CSAMT methodology[J]. Geophysics, 1997b, 62(4):466-476.

[11] 邓国泉,程云涛.CSAMT 在福建贵安地热勘查中的应用[J].物探与化探,2011,35(6):751-753.

[12] 吴璐萍,石昆法.可控源音频大地电磁法在地下水勘查中的应用研究[J].地球物理学报,1996,39(5):712-717.

[13] Mitsuhashi Y, Toshihito U, Hirsch A. 2.5D inversion of frequency-domain electromagnetic data generated by a grounded-wire source[J]. Geophysics, 2002, 67(6): 1753-1768.

[14] Matsushima T, Okada H. Determination of deep geological structures under Urban areas using long-period microtremors[J]. Butsuri-Tansa, 1990, 43(1): 21-23.

[15] Milana G, Barba S, Del P E, et al. Site response from ambient noise measurements: new perspective from an array study in Central Italy[M]. Bull Seism Soc Am, 1996, 86(1): 320-328.

[16] 何正勤,丁志峰,贾辉,等.用微动中的面波信息探测地壳浅部的速度结构[J].地球物理学报,2007,50(2):492-498.

[17] 江苏省地质局物探大队.江苏省常州地区(1:20 万常州图幅)地质-物探综合研究报告[R].1963.

The effects of applying high precision magnetic survey to geological mapping
in Altay glacial till covering area

LAI Yue-Rong, HAN Lei, YANG Shu-Sheng

(No. 8 Detachment of Armed Police Gold, Urumqi 830057, China)

Abstract: In the Altay high latitude glacial till covering area, an analysis of rock magnetic data shows that magnetic properties of rocks are different from each other conspicuously. The magnetic anomaly identification marks have been established preliminarily. The magnetic field can be divided into three districts: I -1 high stability zone corresponding to biotite granite, and I -2 highly jumping magnetic field zone reflecting the distribution of Silurian hypometamorphic rocks; II medium stability magnetic field zone corresponding to two-mica granite; III low magnetic field zone representing the reflection of Sinian-Cambrian weak to non-magnetic epimetamorphic rocks. Eight NW-and NE-trending concealed faulted structures were determined through deduction. The results achieved by the author provide geophysical basis for the construction of the structural framework of this area. The ground high-precision magnetic survey is effective in supplementary geological mapping of the glacial till covering area and plays a guiding role in practical geological mapping.

Key words: high precision magnetic survey; glacial till covering area; geological mapping

作者简介: 赖月荣(1975-),男,工程师。1997年毕业于华东地质学院应用地球物理专业,学士学位,一直从事物化探找矿工作。

上接 1175 页

The application of geophysical prospecting methods to geothermal well exploration
of Chishanhu area, Jurong City, Jiangsu Province

CHEN Jin-Bao¹, SU Jin-Bao², CHEN Juan³, ZHANG Zuo-Hong¹, YANG Chun-Guang⁴, CAO Yong⁴

(1. Geological Exploration Technology Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210008, China; 2. School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China; 4. Chishanhu Commission of Jurong City, Jurong 212433, China)

Abstract: Chishanhu area is located in Jurong City of Jiangsu Province. Jurong belongs to the southern Jiangsu region of Yangtze block and has poor hydrogeological conditions. In combination with gravity, electrical sounding and MT, geological and drilling data, the authors chose resistivity inversion profile of CSAMT and microtremor measurement to explore lithology and depth of the thermal reservoir and location of the fault. Based on geothermal and hydrogeological conditions, the authors confirmed the geothermal well site and then successfully revealed a hot spring with water output of 500 m³/day and temperature 55℃ through actual drilling.

Key words: CSAMT, microtremor, hydrogeology; geothermal; groundwater; faulted structure; geothermal reservoir structure; Chishanhu area in Jiangsu Province

作者简介: 陈进宝(1959-),男,学士学位,地苏省地质勘查技术研究院副院长,长期从事地质物探勘察研究。

通讯作者: 苏金宝(1980-),男,博士学位,河海大学教师,主要从事盆地与造山带构造、地下水资源与地热研究。