



综合物探方法在济南市章丘地区 地热资源勘查中的应用

宋希利¹, 方庆海²

(1. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 2. 山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014)

摘要:利用大极距电阻率测深、高精度磁测和音频大地电磁法开展综合物探工作, 查明工作区隐伏断裂构造及破碎带位置即寻找深部导热储水构造, 推测热储层顶板埋深, 圈定低阻异常区。根据当地的地质、地形与施工条件, 选择合理的物探方法确定钻井位置, 设计钻孔深度, 施工钻孔, 最终打出了自流量 70 m³/h、井口水温 41℃ 的理想低温型热水井。

关键词:电阻率测深; 高精度磁测; 音频大地电磁; 地热资源勘查; 章丘地区; 济南市

中图分类号: P631

文献标识码: A

地热作为一种绿色、清洁的新型能源, 有着巨大的经济开发潜力。地下热水应用广泛, 易于开发, 费用低廉, 已普遍应用于发电供暖、生活洗浴、热水理疗、温水养殖、温室种植、温池游泳等生活领域。章丘位于济南市附近, 对地热温泉的需求迫切, 其开发和利用价值较高。章丘市政府委托山东省地质环境监测总站进行该地区的地热资源普查工作, 查明地热成因并确定地热异常区的范围, 为地热井施工提供充分依据。受山东省地质环境监测总站委托, 山东省地矿工程勘察院承担了该项目的地面物探工作, 查明区内隐伏断裂构造的产状及水理性质, 确定热储层顶板埋藏深度。依据物探推断的构造破碎带位置、圈定的电阻率低阻范围, 建议钻井位置确定了井位, 钻孔施工 428.77 m, 自流量 70 m³/h (抽水试验 123 m³/h、降深 16 m)、井口水温 41℃, 在该区钻出了大水量的低温型热水井。该地热井的成功钻出, 一方面改写了该区无温泉的历史, 同时也创造了在距章丘百脉泉 (冷水泉) 近范围内钻出如此理想温泉井的奇迹; 另一方面, 也证明了物探选用的方法切实可行、有效。

1 区域地质及水文地质概况

1.1 地层

地层由老至新主要有: 奥陶系, 岩性主要为白云质灰岩、致密坚硬厚层石灰岩、豹皮状石灰岩; 石炭系、二叠系, 岩性主要为泥岩、粉砂岩、中砂岩, 石炭系中夹有薄层石灰岩及煤层; 新近系, 岩性主要为泥岩、页岩、黏土岩; 第四系, 岩性主要为冲积层、黏质砂土、砂质黏土, 部分位置有砂、砾石层。

1.2 构造

根据区域地质资料分析^[1], 工作区有 2 条断裂即文祖断裂和钓鱼台断裂, 在工作区北半部走向均为 NW 向, 在工作区以外分布有近 SN 向的朱各务断裂 (图 1)。

1.3 水文地质

工作区位于泰山背斜北翼单斜构造水文地质区、明水单斜构造水文地质单元西北部, 地下水类型自上而下依次分布有第四系松散岩类孔隙水、古近系碳酸盐岩类裂隙岩溶水和半胶结砾岩孔隙裂隙水、石炭纪碎屑岩夹薄层碳酸盐岩类岩溶裂隙水、奥陶纪碳酸盐岩类裂隙岩溶水^[2]。

第四纪松散岩、古近纪碳酸盐岩和半胶结砾岩赋水条件良好, 含水层可以得到大气降水、地表水的

* 收稿日期: 2009-12-21; 修订日期: 2010-02-05; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 宋希利 (1963—), 男, 山东济阳人, 高级工程师, 主要从事物探生产与技术管理工作; E-mail: jn-sxl@163.com。

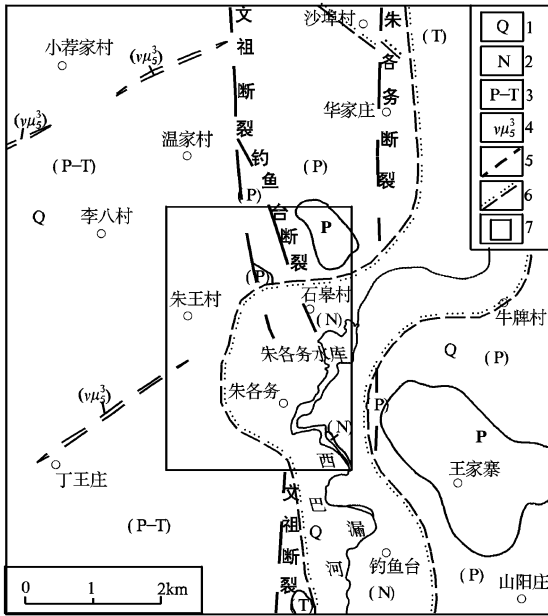


图1 工作区位置及区域地质图

1—第四系;2—新近系;3—二叠—三叠系;4—燕山晚期辉长玢岩;5—推测断裂;6—不整合地质界线;7—工作区范围

直接或间接补给,富水性强,各含水层之间具有较强烈的水力联系。古近系下伏二叠纪碎屑岩类,节理裂隙不发育,岩石结构完整性良好,仅局部弱含水,属相对弱透水层。

石炭系碎屑岩夹数层薄层石灰岩,其中以本溪组徐家庄灰岩和草埠沟灰岩岩溶较为发育,富水性较强。含水层主要补给来源为上游地下水的侧向径流,其次为奥陶系裂隙岩溶水通过断裂带的顶托补给。因地下水循环条件差,故矿化度大多在2 g/L以上。

奥陶系裂隙岩溶水属深埋藏型,埋藏于石炭、二叠系之下,属南部单斜构造裂隙岩溶水含水层向山前倾斜平原的纵向延伸部分。含水层厚度大,但补、径、排条件差,不能得到大气降水的直接补给,一般多形成封闭或半封闭的含水系统。

2 物探方法技术

根据工作目的及地质、地形条件,该次工作方法选用了大极距电阻率测深、高精度磁测,并在电测深IV剖面上利用V8-6R电法工作站进行了音频大地电磁法(AMT)试验^[3]。

2.1 电阻率测深法

电阻率测深法的基本原理^[4]是通过人工向地

下供电测量地下岩(矿)石的电阻率,通过改变供电电极距来控制不同的勘探深度,由浅入深,了解地下介质垂向上电阻率的变化。最后通过数据处理及分析所得的视电阻率参数,确定地下岩(矿)石差异,达到解决地质问题的目的。

为保证准确反映不同深度的地层电性特征,该次电阻率测深选用大极距测深,AB=20~3200 m,并从800 m开始,每200 m增加一个极距。点距为50 m,100 m。采用AB:MN=5:1的对称四极等比装置。具体极距排列如下:

$$AB(m) = 20, 40, 76, 130, 200, 260, 340, 440, 560, 760, 1000, 1300, 1600, 2000, 2400, 2800, 3200。$$

$$MN(m) = AB/5(m)$$

2.2 高精度磁测

高精度磁测是通过高精度磁测仪器,在地面观测岩矿石的磁场大小,通过分析研究地下地质体的磁性特征来解决一系列地质问题的一种勘探方法。

工作中使用的仪器为PM-2质子磁力仪,该仪器磁场测量精度为±1 nT,分辨率高达0.1 nT,测量点距为20 m,其他技术要求严格执行CJJ7-2007《城市工程地球物理探测规范》。

2.3 音频大地电磁法

音频大地电磁法简称为AMT法,基本原理与MT法一样,是利用天然的大地电磁场作为场源,通过测量不同频率的电磁信号而获得的不同深度的电性信息来分析地下岩石的电性参数,并通过地电断面的变化来研究地质构造、找矿、地热资源等地质问题的一种地球物理勘探方法。

此次使用仪器为加拿大生产的V8-6R电法工作站,频率采样范围0.6~9600 Hz,为张量测量,同时可观测5个分量,既可以取得沿测线方向的资料,同时还可以取得垂直测线方向的资料^[5]。点距均为100 m。

3 资料分析与成果

在工作区内共布设EW向电阻率测深和高精度磁测剖面各6条,即I, II, III, IV, V, A线;音频大地电磁(AMT)试验剖面1条,位于测深IV剖面上。

3.1 电阻率测深资料分析

3.1.1 已知孔井旁测深曲线与地层的对应关系

图2为已知孔2-2井旁测深曲线,为K型,基

本反映3个电性单元。第一电性单元反映第四系的电性特征,其视电阻率值较低23~25 Ω·m,即曲线浅部的平缓段;第二电性单元为曲线中部的上升段,综合反映二叠系、石炭系电性特征,对应 AB/2 = 38~500 m 位置,此段视电阻率 23~56 Ω·m;第三电性单元为从曲线上的极大点开始的缓下降段,反映奥陶系电性特征,该点极大点对应的 AB/2 为 500 m。采用拐点切线法,通过与地层的对应关系找出规律求出深度校正系数 K,来计算每个实测点的奥陶纪灰岩即热储层的顶板埋藏深度。由已知孔 2-2 井旁测深曲线,求得系数 $K = H/H' = 390/490 = 0.80$,其中 H' 为交点 O 对应的 AB/2 距, H 为钻孔揭露奥陶系顶板埋深(该孔根据徐灰深度推算)。

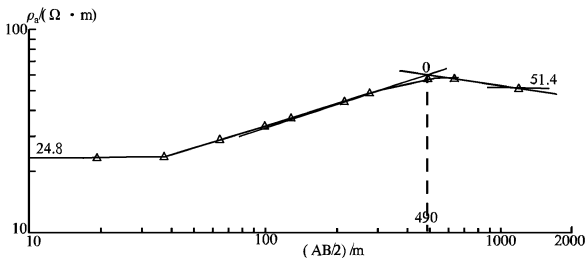


图2 孔2-2井旁测深曲线与拐点切线法求系数 K

3.1.2 ρₐ 等值线断面图特征分析

各剖面共同特征为:浅部等值线值低,深部等值线值较高;等值线在断裂构造及附近呈现低阻异常变化即呈现“V”,“U”型或呈现“台阶”、“斜坡”状,远离断裂构造等值线平缓。断裂构造或破碎带,是地下热水的良好通道。

以物Ⅲ线(图3)为例进行分析:在浅部即 AB/2 = 10~170 m 深度、剖面 22~29 点间形成了明显的低阻异常区域;在相对深部即 AB/2 = 280~1400 m 深度、剖面 21~27 点间形成了明显的低阻异常带,24 点是低阻带中心,其等值线稀疏、数值低,ρₐ 值 48~50 Ω·m。16~21 点间等值线密集、数值高,ρₐ 值 52~58 Ω·m;同样,27~34 点间等值线密集、数值高,ρₐ 值 52~66 Ω·m。推测此低阻异常带为断裂构造破碎带,断裂构造为文祖断裂。

3.1.3 ρₐ 平面等值线图特征分析

以已知地热异常点及附近的 ρₐ 等值线形态与数值大小圈定了不同 AB/2 极距(280 m, 500 m, 800 m, 1200 m) ρₐ 平面等值线图上的相对低阻区域,为确定地热异常区提供了充分依据。由各平面等值线图低阻范围分析,800 m 平面等值线图上的低阻区

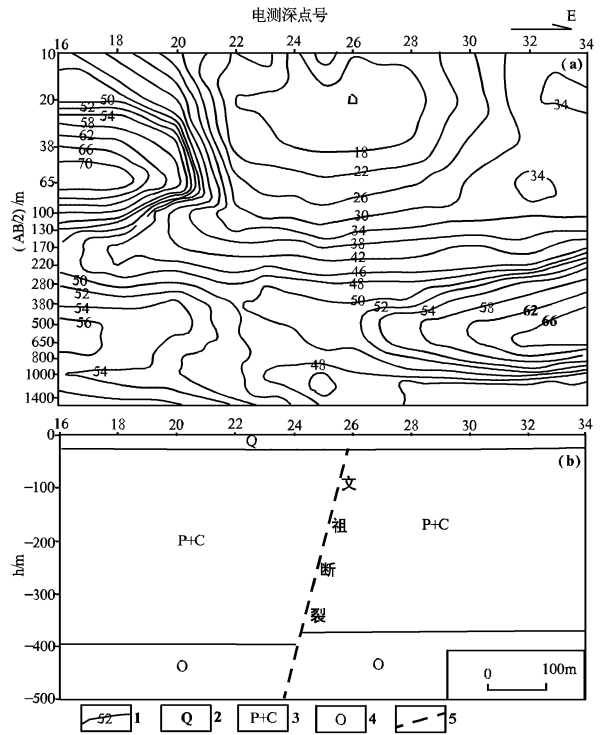


图3 电测深物Ⅲ线综合剖面图

(a)电测深地电断面;(b)推断地质剖面

1—视电阻率等值线;2—第四系;3—二叠+石炭系;4—奥陶系;5—物探推断断层

域最具代表性,以 AB/2 = 800 m 的 ρₐ 平面等值线图(图4)为例分析其特征如下:

由图4可以看出,工作区西北部形成了低阻异常,以 ρₐ = 54 Ω·m 等值线为界圈定了一相对低阻区域,在该区域内等值线稀疏且为低阻,ρₐ = 50~54 Ω·m,在区域之外等值线相对密集且为高阻,ρₐ = 55~100 Ω·m。低阻区近椭圆形,长轴约 1.5 km 为 NW 向,短轴约 1.0 km 为 NE 向。文祖断裂穿过低阻区东部。

3.2 高精度磁测资料分析

磁测成果无异常显示即各剖面磁场(ΔT)曲线图及平面等值线图上,均无异常反映,说明该区无大规模的岩浆岩侵入、断裂构造无岩浆岩脉充填,说明构造导水、导热性能良好。

3.3 音频大地电磁(AMT)资料分析

图5为 AMT 二维反演视电阻率等值线拟断面图,与测深Ⅳ剖面的 18~38 点重合,点距 100 m,为验证断层产状、分析断层性质及电性分层而布设。垂向深度 0~300 m 等值线稀疏,为低阻区,ρₐ 值小

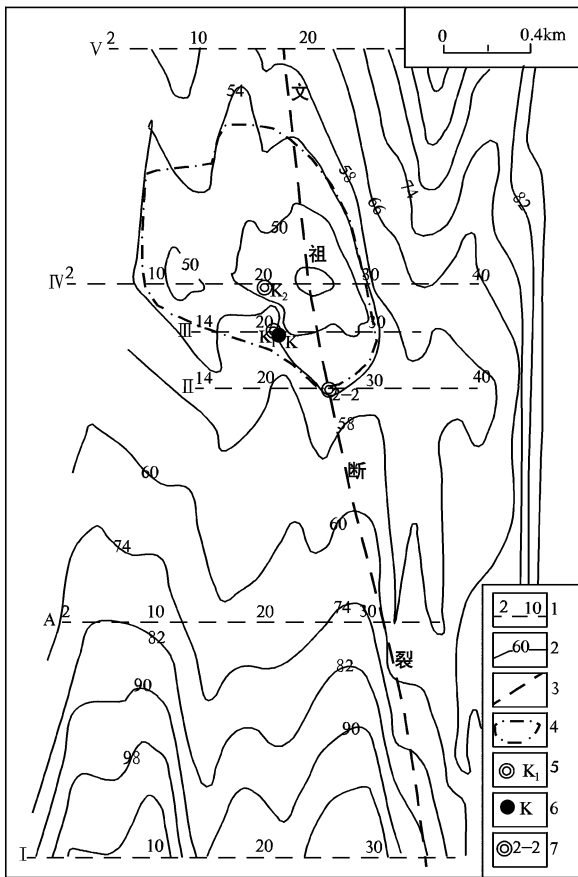


图4 物探推断平面成果图

1—电测深剖面;2— $AB/2 = 800\text{m}$ ρ_a 等值线;3—物探推断断层;4—物探圈定低阻区域;5—物探建议钻井位置;6—实际地热井位置;7—已知地热井位置

于 $25 \Omega \cdot \text{m}$; 大于 470m 深度, 等值线出现了明显变化, 剖面上 25 点是一电性分界线, $18 \sim 25$ 点间等值线稀疏, ρ_a 值低为 $50 \sim 150 \Omega \cdot \text{m}$ 。 $25 \sim 38$ 点间等值线密集, ρ_a 值高为 $100 \sim 700 \Omega \cdot \text{m}$, 在深部等值线为“台阶”状且随深度增大高阻等值线向西偏移。大于 470m 深度的高阻地段推测为奥陶纪灰岩的电性反映, 取深度校正系数为 0.8 , 计算奥陶纪灰岩顶板埋深为 376m , 与电测深求得的深度 383m 接近。推测深部的“台阶”状异常由断裂构造即文祖断裂引起。在文祖断裂的上盘低阻范围较大, 说明奥陶系灰岩裂隙岩溶发育程度较好, 同时也可断定文祖断裂及破碎带内未有岩浆岩脉充填, 推断成果与电测深资料推断成果相吻合。

3.4 推断成果与地热形成条件分析

3.4.1 推断成果

由电阻率测深曲线、各剖面 ρ_a 等值线断面图、

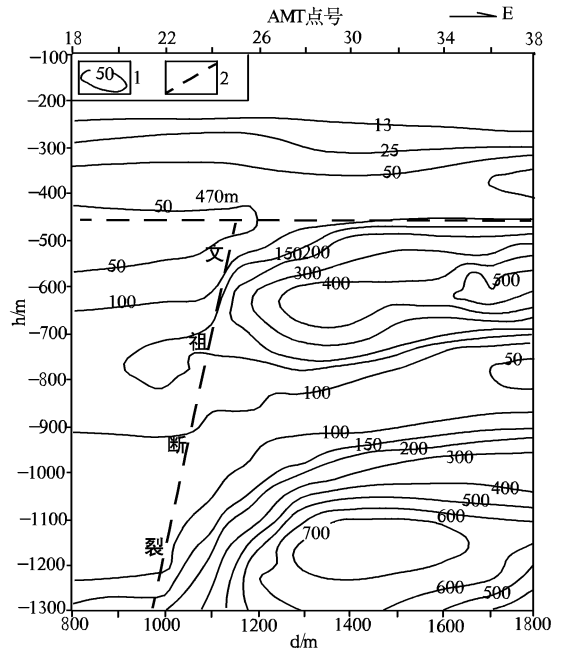


图5 AMT 二维反演视电阻率拟断面图

1—视电阻率等值线;2—物探推断断层

AMT 二维反演视电阻率等值线拟断面图、不同极距的 ρ_a 平面等值线图异常特征推断了工区平面成果图(图4)。主要成果有:①推断了文祖断裂的产状并分析研究了其水理性质:走向 NW、倾向 SW, 破碎带内未有岩浆岩脉侵入, 说明为一导水、导热断裂。②推断了重点地段即 II, III, IV 剖面上热储层即奥陶纪灰岩的顶板埋藏深度 $370 \sim 430\text{m}$ 。③圈定了低阻异常区。低阻异常区是断裂构造的破碎带及影响带, 是地热形成的最有利区域。④确定了钻孔位置。建议布于低阻异常区内的 $22/\text{III}$, $20/\text{IV}$ 点或附近位置。

3.4.2 地热形成条件分析

物探圈定的低阻区域为断层破碎带及影响带, 是地热形成的最有利区域, 具备地热形成的盖、储、通、源 4 个条件。其盖层为第四系、二叠系、石炭系, 总厚度在低阻区域内为 $370 \sim 430\text{m}$; 热储层为奥陶纪灰岩, 在断裂构造附近岩溶、裂隙较发育, 有利于形成富水地段; 通道即为 NW 向的文祖断裂, 为一区域性张性大断裂, 起到沟通下部热源的作用; 热源为地球深部的热能, 通过深大断裂即文祖断裂传输到浅部含水层并对其进行加热, 由于上覆盖层的保温阻热作用形成了地下热水含水层(热储层), 其水源由深循环补给。由此可以肯定物探圈定的低阻异常区就是地热异常区^[6]。

4 钻探验证

根据地形与施工条件钻孔实际布于物探推测低阻异常区内的22.6/Ⅲ点即K位置,设计孔深600 m,实际钻探428.77 m,钻孔揭露奥陶纪灰岩顶板埋深387 m,物探推断390 m,地热井成井后自流量达到70 m³/h(抽水试验123 m³/h、降深16 m)、井口水温41℃,该孔水温理想、涌水量超出事先估算水量30 m³/h。物探推断各项成果与钻探结果吻合较好^[7]。

5 结语

(1)大极距电阻率测深可以比较真实的反映不同深度地层电阻率大小,有利于进行地层对比和推测地层厚度,也可从区域上控制断裂构造或破碎带的平面位置,圈定低阻区域即地热异常区,有施工条件的工作区应当布置一定工作量。

(2)高精度磁测成果在有岩浆岩侵入的地区可以判断断裂构造有无岩脉充填,进而分析断裂构造的水理性质。

(3)AMT法可以在小范围内施工,设备轻便,勘探深度大,分辨率高,不仅能够研究断裂构造或破碎带特征,而且能够电性分层,圈定低阻异常区,进而

分析确定靶区。与电阻率测深、CSAMT相比,分辨率较高,但在具体生产中要尽量避免电磁干扰体,以获得真实可靠的数据,最后反演结果才是可信的。

(4)综合物探方法在地热勘查中经济、实用、效率高,随着新方法、新技术的应用,使得物探成果的精度不断提高。根据不同地区的地质、地球物理特征及地形与施工条件,选择合理的物探方法组合可以收到良好的地质效果。

参考文献:

- [1] 山东省第四地质矿产勘查院. 山东省区域地质[M]. 济南:山东省地图出版社,2003.
- [2] 孔庆友,张天祯,于学峰,等. 山东矿床[M]. 济南:山东科学技术出版社,2006.
- [3] 汤振清,孙文洁,强孟东. 综合物探方法在地热勘查中的应用[J]. 山东国土资源,2007,23(6-7):67-70.
- [4] 傅良魁. 应用地球物理教程——电法. 放射性. 地热[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [5] 王元君,杨轮凯,刘宏. 综合物化探方法在秦岭探测隐伏铅锌矿中的应用[J]. 物探与化探,2007,31(4):320.
- [6] 鹿波,乔增宝,赵体群,等. 莱芜市冷家庄地区地热地质条件探讨[J]. 山东国土资源,2009,25(6):25-27.
- [7] 长春地质学院. 水文地质工程地质物探教程[M]. 北京:地质出版社,1980.

Application of Integrated Geophysical Survey Methods in Exploration of Geothermal Resource in Zhangqiu Area of Jinan City

SONG Xili¹, FANG Qinghai²

(1. Shandong Geo - engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Geological Environment Monitoring Center, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: By using large polar distance resistivity sounding, high - precision magnetic measurement, and audio - frequency magnetotelluric methods, integrated geophysical exploration work has been carried out. It is identified that hidden faults and fracture zones are the location of searching for the deep thermal water storage structures. Its roof depth of thermal reservoir is speculated, and low resistance anomaly area is circled as well. According to geology, topography and construction conditions in this region, through using reasonable geophysical method to determine the drilling location, design the drilling depth, an ideal low temperature thermal well has been digged with the flow of 70m³/h, while the temperature of well head is 41℃.

Key words: Resistivity sounding; high - precision magnetic measurements; audio - frequency magnetotelluric; geothermal resources exploration; Zhangqiu areas; Jinan city