

技术方法

大地电磁测深在山东齐河法王南部地区 地热普查中的应用

任正和,尹训志,田庆安,张杰

(山东省鲁北地质工程勘察院,山东德州 253072)

摘要:地热资源的勘查开发,对于合理利用自然资源,缓解能源紧张状况,促进经济可持续发展意义重大。在充分收集前人对区域地质、水文地质、地热地质条件研究成果的基础上,利用大地电磁测深(MT)查明齐河法王南部地区地层结构、主要断裂构造的产状、空间展布及断裂带两侧地层分布情况、岩溶裂隙分布、热储与盖层的分布规律、埋深、厚度、岩性等地热地质条件,取得了良好效果,为地热验证孔位的确定提供了可靠的依据。

关键词:大地电磁测深;电磁场;电性层;地温场;热储层;法王南部地区;山东齐河

中图分类号:P631.3⁺25;P314.1

文献标识码:B

0 引言

大地电磁测深法(Megetotelluric Sounding)简称MT,是以天然交变电磁场为场源,在地表接收与地下介质电性有关的正交电场、磁场分量,应用傅里叶变换将时间序列信号转换为频率域信号,通过阻抗张量计算得到不同频率的视电阻率、相位等参数。因场源频带范围很宽($10^{-4} \sim 10^3$ Hz),由于电磁场的趋肤效应:高频电磁场穿透浅、低频电磁场穿透深,因此,通过研究大地对不同频率电磁场的频率响应,即可达到测深的目的,其勘探深度可达到数十至数百千米,进而解决相应的地质构造问题^[1,2]。

通过观测 E_x, E_y, H_x, H_y, H_z 这5个电磁场分量,求得张量阻抗 Z 和倾角 TP 等参数,进而计算视电阻率和相位^[3],利用其断面电阻率异常特征达到解决地质问题的目的。根据以往地质资料分析,齐河县法王南部地区区内深大断裂发育,具备良好的地热地质条件和成矿远景。在充分收集研究前人研究成果的基础上,通过大地电磁测深法(MT)查明工作区地层结构、主要断裂构造的产状、空间展布及断裂带两侧地层分布情况、岩溶裂隙分布、热储与盖层的分布规律、埋深、厚度、岩性等地热地质条件,取

得了良好效果,为地热验证孔位的确定提供了可靠的依据。

1 区域地质概况

1.1 地层

勘查区处于鲁西隆起的北缘,华北凹陷的南缘,地表广泛分布第四系。喜马拉雅运动早期,受太平洋板块向NWW俯冲影响,鲁西地区发生区域性隆起,导致古近系的普遍缺失。自新近系以来,区内地壳缓慢下降,新近纪明化镇组、第四系发育齐全,缺失新近纪馆陶组及古近纪地层。根据区域地质资料以及工作区附近已有地热井所揭露的地层情况,3000 m以浅,工作区地层自下而上可划分为:奥陶系、石炭-二叠系、侏罗系、新近系与第四系。

(1)奥陶系:主要为马家沟群,自下至上包括东黄山组、北庵庄组、土峪组、五阳山组、阁庄组、八陡组。与上覆石炭-二叠系呈不整合接触,顶板埋深1200~2600 m,由南至北埋深逐渐变深,厚度约800 m左右。主要岩性为白云质灰岩、厚层灰岩、豹皮状灰岩、泥质灰岩等。

(2)石炭-二叠系:石炭系为灰绿色泥岩夹砂岩、灰岩夹少量薄煤层,厚度50~100 m。二叠系为中

* 收稿日期:2012-05-10;修订日期:2012-06-20;编辑:陶卫卫

作者简介:任正和(1963—),男,山东乐陵人,工程师,主要从事水文物探工作;E-mail:sddzrz@163.com.

细砂岩、砂质页岩、泥质页岩,含薄煤层,厚度 500~600 m。

(3)新近系:由灰绿色泥岩,灰白色砂岩组成,水平层理发育。顶板埋深 300 m 左右,厚度 200~500 m,与下伏侏罗系不整合接触。

(4)第四系:岩性为灰黄绿色粉质粘土、粉砂、粘土、粘土,偶含礞石,厚度 300 m 左右。

1.2 构造

工作区在大地构造单元上属于华北板块、鲁西地块、鲁中隆起之齐河凸起(潜)。周边主要断裂有齐河-广饶断裂、焦斌屯断裂、蛮子营断裂等(图 1)。

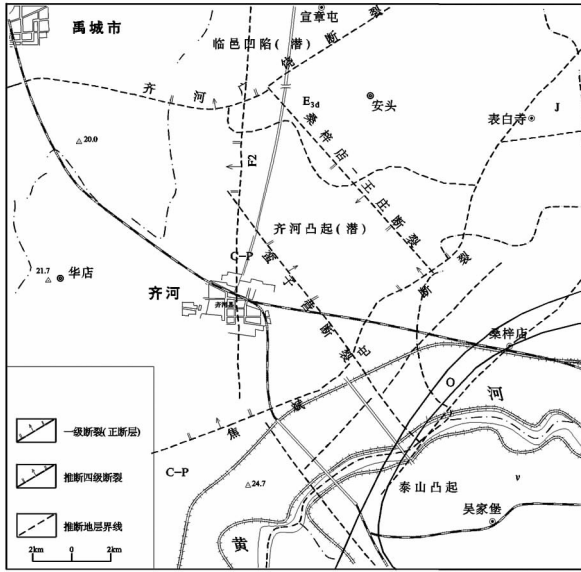


图 1 区域地质构造略图

(1)齐河-广饶断裂:在工作区以北通过,为 II 级构造单元华北板块与鲁西地块的分界断裂,走向 NEE 向,倾向 NW,倾角 $65^{\circ}\sim 80^{\circ}$,为南盘上升、北盘下降的正断层,断距 1 500~2 000 m。该断裂形成于中生代以前,新生代仍处于活动状态,沿断裂带有间歇性的基性岩浆活动。

(2)焦斌屯断裂:该断裂为区域构造单元的控制性断裂,从工作区东南部通过,走向 NNE,倾角 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$,为东盘上升、西盘下降的正断层。该断裂带切割深度大,断层两侧垂直断距较大,据“济南北部地热田地热资源勘查评价”物探成果,断裂两侧中奥陶系顶板垂直断距达 1 000 m 之巨,是区内的主要控热控水断裂。

(3)蛮子营断裂:据“济南北部地热田地热资源勘查评价”物探工作解译,位于蛮子营村东,走向

NNW,倾向 NE,倾角 $75^{\circ}\sim 80^{\circ}$,为南盘上升、北盘下降的正断层,该断裂切割至奥陶系,上下盘垂直断距 200 m 左右。

区内的断裂构造对地下热水的运移和分布起着重要作用,切割了深部奥陶纪灰岩,使其岩性破碎充水、岩溶较发育,且是地球深部热源向上传导的通道。

2 地热地质条件

2.1 地温场特征

区内地温梯度变化与基底构造关系密切,总体随奥陶纪石灰岩热储层埋深的增加而减小;工作区内的地温梯度大致可以分为 3 个带:

(1)地温梯度大于 $4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 带,该条带分布在济南岩体北侧灰岩条带上,大致呈近 EW 向带状展布。

(2)地温梯度 $3.5\sim 4.0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 带,大致分布在地热田中部奥陶纪灰岩顶界埋深小于 2000 m 的区域。

(3)地温梯度小于 $3.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 带,该地带奥陶纪石灰岩顶界埋深一般大于 2 000 m,分布在济南地热田的北部、东北部。

工作区南部的齐热 1 井热储顶板埋深在 1 306.53 m,地下水温度为 57°C ;东部的国科 1 井热储顶板埋深在 1 444 m,地下水温度为 55.5°C 。根据工作区内及附近区域的地温场特征可知,该区具备较好的地温地热条件。

2.2 地热成因分析

(1)热储层组划分

根据热储含水层的埋藏条件、岩性、岩相特征、热流体的储集空间类型、地热流体温度、埋深、水化学特征及区域研究程度,在可及深度内,将区内热储系统自上而下划分为:新近纪砂岩类孔隙型热储层组、石炭-二叠纪碎屑岩类裂隙型热储层组、奥陶纪碳酸盐岩类岩溶裂隙热储层组。

新近纪砂岩类孔隙型热储层组:顶板埋深 190~300 m,厚度 300~900 m,热储岩性主要为细砂岩、中砂岩,厚度占地层总厚度的 $20\%\sim 30\%$,由于热储埋深浅,预计水温低于 40°C 。

石炭-二叠纪碎屑岩类裂隙型热储层组:顶板埋深 500~1 200 m,厚度 500~800 m,地热水主要赋

存于砂岩裂隙内,富水性受裂隙发育程度控制,预计水温 53℃ 左右。

奥陶纪碳酸盐岩类岩溶裂隙热储层组:顶板埋深 1 200~2 500 m,厚度超过 500 m,岩性以厚层质纯灰岩、云斑灰岩为主,在区内分布广泛。根据栗庄地热井揭露的地层资料,奥陶纪马家沟群灰岩主要有八陡组质纯灰岩、云斑灰岩;阁庄组泥灰岩、白云质灰岩;五阳山组的厚层灰岩、云斑灰岩。其中马家沟群的八陡组、五阳山组灰岩质纯硬脆,裂隙岩溶发育且连通性好,富水性较强,阁庄组泥灰岩、白云质灰岩较软,岩溶不发育。根据周边地热井资料,该热储层富水性较好,单井涌水量一般大于 80 m³/h,且温度较高,在 55.5~57.0℃,是该区可供开发利用的主要热储层。地热水矿化度在 3g/L 左右,水化学类型为 SO₄-Ca 型。

(2) 热储盖层

区内热储盖层主要为第四系、新近系、石炭-二叠系,第四纪和新近纪岩(土)层较松散,密度小,热阻大,导热性能差,石炭-二叠纪泥(页)岩厚度大,隔热性能良好,形成了良好的热储盖层。

(3) 地热水补给水源

工作区位于济南地热田的北部,热储类型属于层状兼带状热储,水量受构造发育影响;热源类型为深循环对流型。区内热储层主要为奥陶纪马家沟群灰岩,补给源为南部山区大气降水,深大断裂是地热水与深部热源沟通的通道。

(4) 热源

区内地热资源热量主要来源于正常大地热流,工作区位于鲁西隆起区,基岩埋深较浅,根据地温梯度垂向变化特征分析,由于基岩的热传导率远大于松散沉积岩,从地幔辐射出来的均一热流经重新分配,选择热传导率高的通道传播,从而在基岩浅埋区富集,形成了工作区内高热流值的地热地质背景。此外,工作区东南部的济南侵入岩体,在其活动期间带来了较多的热量,且岩体中的放射性元素衰变散发出可观的热量,成为区内地热资源的一部分(图 2)。

3 地球物理特征

由于影响岩石电阻率的因素众多,因此,自然环境下某种岩石的电阻率并非某一特定值,而是随特定环境下岩石孔隙中的含水量、温度、深度压力及矿

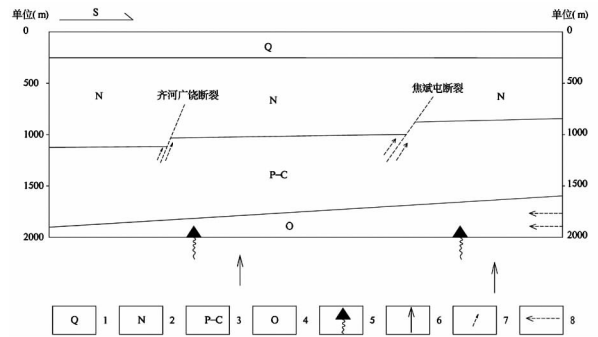


图 2 地热成因模式图

1—第四系;2—新近系;3—石炭—二叠系;4—奥陶系;5—深循环上升热流;6—均一背景热流;7—断裂部位集中热流;8—侧向补给水源

物结构等,在一定的范围内变化。一般环境下,第四纪和第三纪陆相碎屑沉积岩,电阻率一般在 15~50 Ω·m,但当沉积岩性为细砂、粉砂岩且其致密不含水时电阻率偏高;中生代陆相碎屑沉积岩电阻率值一般在 25~500 Ω·m,晚古生代的电阻率一般为 50~1 000 Ω·m,电性稳定,其值较上覆盖层第四系及下伏灰岩、岩浆岩电阻率低;奥陶纪灰岩及岩浆岩,电阻率最高,一般在 2 000~20 000 Ω·m,系该地段电阻率无穷大标志层,但当有断层存在情况下,岩石破碎且充水,其电阻率明显降低,电阻率值小于 500 Ω·m,特别是在温泉附近,构造充水且被加热,其电阻率降低更为明显。因此,该工作区内地层大致可划分为 3 个电性层,第 1 个电性层为第四纪和新近纪低阻地层;第 2 个电性层为石炭-二叠纪中阻地层;第 3 个电性层为奥陶纪高阻地层。

当有断层存在情况下,岩石破碎且充水,其电阻率明显降低,特别是构造充水且被加热,其电阻率降低更为明显。断裂构造的存在使得原岩的连续完整性遭受破坏,且多被充填,使电阻率值下降,在视电阻率曲线拟断面图上呈典型的“V”或“U”字型反映。因此正确分析各单支曲线和拟断面图的变化特征,尤其是曲线中段的变化特征,对于正确划分断裂构造的位置是至关重要的。

大地电磁测深法,是采用天然场源的一种电磁法,它是以电磁场的理论为基础,在地球物理勘探中,利用介质的介电常数、磁导率和电导率的差异而达到解决不同地质问题的目的。由于大地电磁勘探对高层反映敏感,而深部的电性特征又跟温度状况、物质成分及其存在状态密切相关,因此,该方法已成为地热研究中的重要地球物理手段。

通过以上区内地球物理特征分析,不同岩性的地层具有明显的电性差异。因此,在区内利用大地电磁测深方法进行地层的划分和圈定隐伏断裂构造,具备良好的地球物理前提。

4 MT 方法应用实例

大地电磁测深方法(MT)所观测的参数是感应电场和磁场,感应场与地下岩(矿)石的电磁性分布有关,通过数据转换处理所得的视电阻率参数,与常规电法视电阻率参数意义相同,故其解释方法原理亦相同。但对于该测区而言,由于区内巨厚的第四系和新近系低阻覆盖层的影响,使得测得的感应电场值较低,进而造成地层、岩性的电阻率整体偏低,其与收集到的电性参数不符,然而各地层、岩性之间仍具备地球物理前提,并不影响断面图的解释推断。通过对测区地下岩层电性特征的探测,获得深部地质结构的纵向地电断面资料,进而划分地层;当在探测区存在断裂构造带时,由于岩石受应力作用破碎充水与围岩岩石具有不同的电性特征,它们之间的电磁性特征有很大的差异,通过视电阻率断面图将反映出不同电阻率的断裂构造带、接触破碎带的空间分布位置以及与围岩的接触关系等物理信息^[4]。

不同地层的岩性一般不同,不同岩性一般会呈现不同的电阻率特性,电阻率的不同为划分地层提供了有利的依据。在实际资料解释过程中,首先确定各地层岩性电阻率,判断电阻率的相对高低,找出标志电性层^[5]。根据地质资料确定各地层大概空间位置及形态。通过对前述地层、岩性的电性特征以及该区测深视电阻率断面图的分析可知,第四纪和新近纪地层视电阻率在 $5\sim 400\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间;二叠纪和石炭纪地层视电阻率在 $20\sim 70\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间;奥陶纪地层视电阻率大于 $70\ \Omega\cdot\text{m}$ 。而在断裂构造发育区,各地层岩性视电阻率值将变小,其厚度和深度也有明显变化。该区主要研究对象及探测目的层是奥陶纪灰岩地层。

断裂蚀变带位于 2 种不同岩性的接触带上,由于垂向分辨率与断层的厚度、埋深以及与围岩的电阻率差异及数据采集密度等因素有关,因此,当断层埋深达到一定的深度时,由于体积效应致使垂向分辨率降低,在断面等值线图上呈过渡梯级带反应。因而,在大地电磁测深视电阻率断面图上,定向延深的低阻带或等值线梯级带异常为断层的反应;在电

阻率断面等值线图上,等值线呈“U”字型或“V”字型低阻区为断层的反应;2 种不同电性特征的区域异常的电性界面,为断层的反应;在电阻率断面图上,等值线间距宽大稀疏并向下同步弯曲为断层的反应。

因此,根据上述勘探原理及推断解释原则,在 MT 测深视电阻率断面图上,可以推断出区内各地层顶板埋深和厚度情况及隐伏断层的展布规律以及地热异常特征。利用获得的物探信息,结合该区地质资料,按照上述物探异常分析,以勘探区 4 400 线为例说明 MT 的应用效果(图 3)。

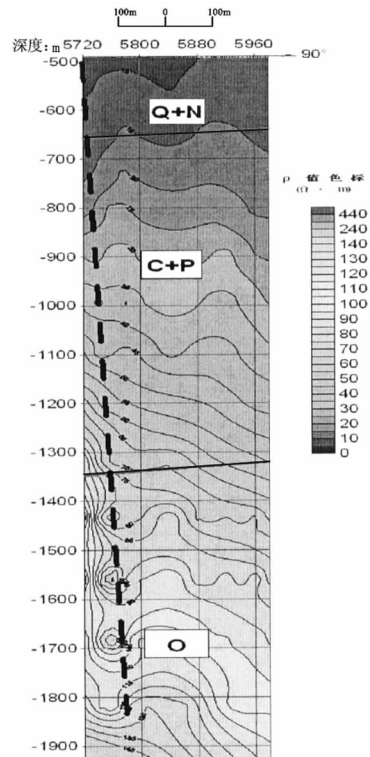


图 3 4 400 线推断断面图

该剖面处于工作区南端、EW 向展布。剖面自上而下电阻率整体显示由低到高变化,过渡均匀,从等值线变化梯度分析,大致可划分为 3 个电性层。

自地表至 650 m 范围内为第一电性层,电性稳定,电阻率值整体低缓,等值线间距宽大平缓。该层又可细分为上下两段,上段为高低阻相间的电性层,在断面图上表现为等值线密集,表明其局部电阻率差异较大,根据区内地质特征分析,该层为第四纪沙土、粉砂、细砂等黄河冲积层,厚度 150 m 左右;下段电阻率值在 $10\ \Omega\cdot\text{m}$ 左右,电性稳定,在断面图上表现为等值线宽大,反映了同一电性层岩性稳定,厚

度在 500 m 左右,呈向 W 缓倾的特征。据区内地质资料推断为新近纪泥质砂岩、砂质粘土岩等。

第二电性层为中阻层,深度范围在 650 m 至 1 350m。断面图上显示电阻率由低向高均匀过渡,其等值线间距较第一电性层窄小,反映了该段岩性变化低缓、沉积稳定的特征。视电阻率值在 $20 \sim 70 \Omega \cdot \text{m}$ 之间,整体上较上覆地层高、下伏地层低。根据电性特征结合区域地质资料,该电性层解释推断为石炭二叠纪地层,其岩性为砂岩、砂质页岩、泥岩夹薄层灰岩。该层与上覆第四纪、新近纪地层组成了区内良好的保温盖层。

第三电性层为高阻基底层,在断面等值线图上显示,该层与第二电性层之间存在明显的电阻率变化梯度带,电阻率值最高且纵向上由低向高变化剧烈,其等值线密集,反映了纵向上岩性变化大的特征。根据电性特征结合区域地质资料,该电性层解释推断为奥陶纪灰岩地层,是区内地热成矿最有利的层位,其顶板埋深在 1 350 m 左右,厚度较大。

从该剖面视电阻率断面图的横向电性特征分析,奥陶纪灰岩顶板整体上向 E 倾,电阻率横向上不连续,反映为同一电性层岩性被错断,5 720 ~ 5 840 点之间自 500 m 至 1 800 m 深度范围内电阻率等值线横向上零乱不连续且同步向下弯曲,存在一明显的低阻“U”型反应,且同一电性层中有低阻圈闭异常。综合上述电性异常特征分析,其为典型的断裂构造特征,解释推断为 F1 断层,倾向 E、倾角

87°左右的隐伏正断层,切割深度 1 800 m 左右。

5 结语

通过在齐河县法王南部地区开展的大地电磁测深工作,获得了较为满意的工作成果。结合区内已有地质、水文资料,通过对测得成果的综合分析认为:

(1)调查区具备良好的地热成矿条件,尤其是区内区域性焦斌屯断裂构造及次级断裂构造对区内地热成矿起到了决定性作用,既提供了热源,又使得热储层裂隙、岩溶发育,富水性较好。

(2)应用大地电磁测深(MT)基本查明了区内盖层上古生界、新近系和第四系厚度在 1 350 m 左右,热储层奥陶系顶板埋深在 1 350 m 左右,以及导水构造 F1 断层的展布情况。

参考文献

- [1] 陈乐寿,王光涛. 大地电磁测深法[M]. 北京:地质出版社, 1990:85-93.
- [2] 朴化荣. 电磁测深法原理[M]. 北京:地质出版社,1990:142-151.
- [3] 刘国栋,陈乐寿. 大地电磁测深研究[M]. 北京:地震出版社, 1984:199-202.
- [4] 李安宁,吕金波. 开发利用地热资源[J]. 中国地质,2001,28(10):78-84.
- [5] 李金铭. 地电场与电法勘探[M]. 北京:地质出版社,2005:66-67.

Application of Magnetotelluric Sounding (MT) Method in Geothermal Exploration in Southern Fawang Village of Qihe County

REN Zhenghe, YIN Xunzhi, TIAN Qing'an, ZHANG Jie

(Lubei Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Dezhou 253072, China)

Abstract: Exploration of geothermal resource is very important in reasonable use of natural resource. It can relieve intense condition of energy and promote sustainable development of economy. On the basis of collecting previous information of regional geology, hydrology geology and geothermal geology, by using magnetotelluric sounding (MT) method, stratigraphy, the occurrence and spatial distribution of main fault structures, the stratigraphy around the faulted zone, karst reservoirs and geothermal and geological conditions of southern areas in Qihe county have been studied and gained a good result. It will provide reliable basis for determining well location.

Key words: Magnetotelluric sounding (MT); magnetotelluric field; electrical level; geothermal gradient field; geothermal reservoir; Qihe county in Shandong province