

# 综合物探在勘查鹤壁市新区深层地下热水中的应用

李刚 郭莹 罗玉彬 王孟霞 王争明

(河南省地质调查院, 河南 郑州 450007)

**摘要:**通过高分辨率可控源地震勘探、高分辨率连续电磁剖面法、高精度重力的综合物探勘查技术的应用,结合区域地质特征查明了鹤壁市新区存在着一个富含地热水的奥陶系古潜山。

**关键词:**综合物探; 鹤壁市新区; 地下热水

## 1 前言

鹤壁市国土资源局为了科学合理地开发鹤壁市新区深层地热资源,要求查明鹤壁市新区主要的热储层奥陶系顶界面的形态,并做好新区第一口深层地热井前期物探论证工作,为鹤壁市新区地热开发及规划方案提供依据。

## 2 地热地质特征

汤阴断陷是一个北北东向的地堑式断陷,其中有安阳、淇县、汲县三个凹陷,在凹陷之间分别是宜沟凸起、后河凸起,其中宜沟凸起又是汤阴断陷的南北段分界处,鹤壁市新区就处在宜沟凸起和淇县凹陷的过渡带上。汤阴断陷分别被汤东(太行山东麓)深断裂、汤西(青羊口)大断裂、焦作—商丘深断裂所围,并控制着它的发生、发展和沉积。大量资料表明,这类地堑式断陷盆地是热量储集的天然理想场所。汤阴断陷内自上而下分布有中新生界、上古生界、下古生界和太古界地层,有可能构成热储层且具有一定温度的地层岩性主要有:上第三系下部松散—半固结的砂层及砂砾层;下第三系半固结的砂岩、砂砾岩;中生界—石炭系裂隙砂岩、灰岩;奥陶—寒武系裂隙、溶隙发育的灰岩等,而盖层则分别为第三系厚层粘土岩、二叠—石炭系厚层页岩等。地下热水以深大断裂和派生断裂带为通道,通过深循环而进入和赋存于各热储层中;而奥陶系灰岩以其水温高、富含地热资源等特点被选为主要目的层。

## 3 地球物理特征

勘探区地层、岩石的物性参数(重、磁、电、震等)是开展综合物探工作的重要前提。现将本区物性特征概述如下:

### 3.1 密度特征

奥陶系灰岩密度为  $2.67 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ,其上覆各地层密度在  $1.90-2.49 \times 10^3 \text{kg/m}^3$  之间,奥陶系地层与其上覆各地层接触均存在明显的密度差异,可引起较明显的局部重力异常。

---

作者简介:李刚(1970-),男,学士,工程师,主要从事物探、地质、矿产等基础勘查工作。

### 3.2 地震波波速特征

本区地层平均速度为：

$$(Q+N) \bar{V} = 1800\text{m/s} \quad (E) \bar{V} = 2265\text{m/s}$$

$$(C+Mz) \bar{V} = 2765\text{m/s} \quad (O) \bar{V} = 4500\text{m/s}$$

因此，奥陶系灰岩与上覆各地层之间存在着明显的波阻抗差异，具备开展反射地震勘探的前提条件。

### 3.3 电性特征

连续电磁剖面法 (CEMP) 是本次勘查的主要方法之一。认识地层电性特征是对电性层进行地质标定、构造解释的基础。本区地层电性具有如下特征：第四系电阻率平均 26.7  $\cdot m$ ；上第三系电阻率由低到次高，即由 17.9 59.4  $\cdot m$ ；下第三系电阻率较低，由 33.6 41.2  $\cdot m$ ；中生界 (Mz) 至石炭系电阻率逐渐升高，为 80—118  $\cdot m$ ，平均 84.3  $\cdot m$ ；奥陶系大于 173  $\cdot m$ 。因此，

连续电磁剖面法 (CEMP) 在本区的使用具有地球物理前提且电性分层与地质分层具有良好的对应关系， $\rho_1$  (低阻层  $\rho_{1-1}$ 、次高阻层  $\rho_{1-2}$ ) 对应第四系与上第三系 (Q+N)， $\rho_2$  (较低阻层) 对应下第三系 (E)； $\rho_3$  (次高阻层) 对应中生界至石炭系 (Mz +C)， $\rho_4$  (高阻层) 对应奥陶系及以下层位；具有低、高、低、高的变化特征。



图 1. 鹤壁市综合物探工作布置图

Fig.1 the map of synthesis physical exploration in plan in Hebi city

- 1—第四系；2—第三系上新统；3—奥陶系中统；4—奥陶系下统；
- 5—喜山期橄榄玄武岩；6—地热井及编号；7—CEMP 测线及编号；
- 8—地震勘探线及编号

## 4 方法技术

### 4.1 连续电磁

#### 剖面法 (CEMP)

根据区域地质资料，为对构造格架进行总体控制，呈“井”字型布置连续

电磁剖面法 (CEMP) 测量剖面 5 条 (近东西向 3 条，南北向 2 条)，测线编号为 CEMP-01—CEMP-05，总长约 35km (图 1)。

### 4.2 地震方法技术

野外地震数据采集使用美国产 RS-60 型相关迭加数字地震仪一台和 M18/612 型可控震

源车两部。野外工作前进行了充分的方法有效性试验，取得了合理的工作参数。在连续电磁剖面法剖面工作的基础上，在重点地段布置地震测线两条，为便于两种资料的对比，地震测线尽可能与连续电磁剖面法测线重合，两条测线均采用道距 20m，偏移距 80m，14 次叠加观测系统。因受实地条件限制，地震测线变换观测系统共计 20 次，使局部地段叠加次数达到 30 次以上，增强了地震波能量，保证了不利地段的地质解释效果。

### 4.3 重力方法技术

重力测量工作使用了两台美国产拉格斯特微伽重力仪，采用自由网布点，GPS 定位，测网密度为 4.5 个物理点/ km<sup>2</sup>。单个物理点控制的最大面积小于 0.5 km<sup>2</sup>，共完成 1:5 万高精度重力测量 256 km<sup>2</sup>。

## 5 成果分析

### 5.1 重力异常特征

由布格重力异常平面图(图 2)可知，东西两侧为重力高，中部重力低，数值变化范围为  $-8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2 \sim -37 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，这种变化趋势反映了地壳深部物质横向变化不均匀性。图幅中部存在着两条巨大的醒目的北北东向重力梯级带，这就是著名的汤西、汤东断裂带。

汤西重力梯级带宽约 2~3km，重力异常值由  $-23 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$  降至  $-33 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，梯度为  $4 \times 10^{-5} \text{m/s}^2/\text{km}$ 。汤东重力梯级带宽约 3~4km，重力异常值由  $-8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$  降至  $-28 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，梯度为  $-4.9 \times 10^{-5} \text{m/s}^2/\text{km}$ 。汤阴断陷主体在两条重力梯级带之间，重力低异常位于浮山一带，浮山重力低异常以  $-37 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$  等值线圈闭，长 4.9km，宽 2.45km。汤西重力梯级带反映太行山东麓与汤阴断陷之间的汤西断裂带，汤东重力梯级带反映内黄隆起与汤阴断陷之间的汤东断裂带，两侧重力高分别有下古生界、太古界高密度地层。其间的槽状重力低反映汤阴断陷内的中生界、上古生界低密度地层分布区。由小李庄向西南至高村一带的鼻状重力高，反映深部有局部隆起构造，也即本区古潜山的主要分布地段。

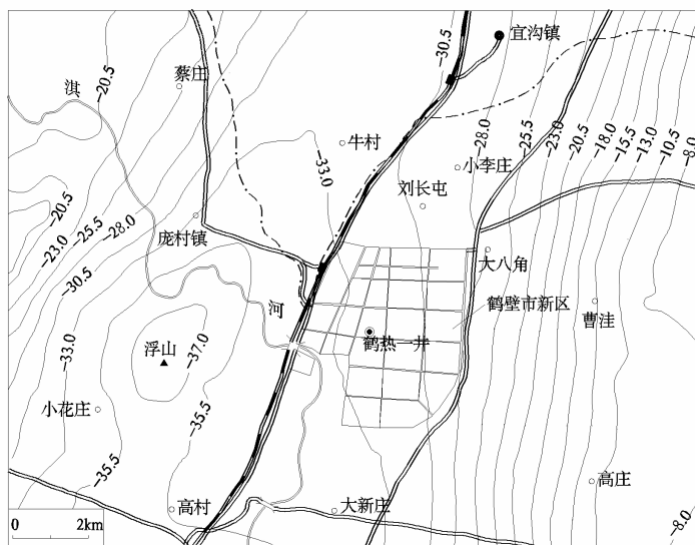


图 2 鹤壁市重力布格异常图

### 5.2 CEMP 成果分析

以 CEMP-02 线为例进行说明，该线是横贯汤阴断陷的一条 CEMP 长剖面，电性反演断面

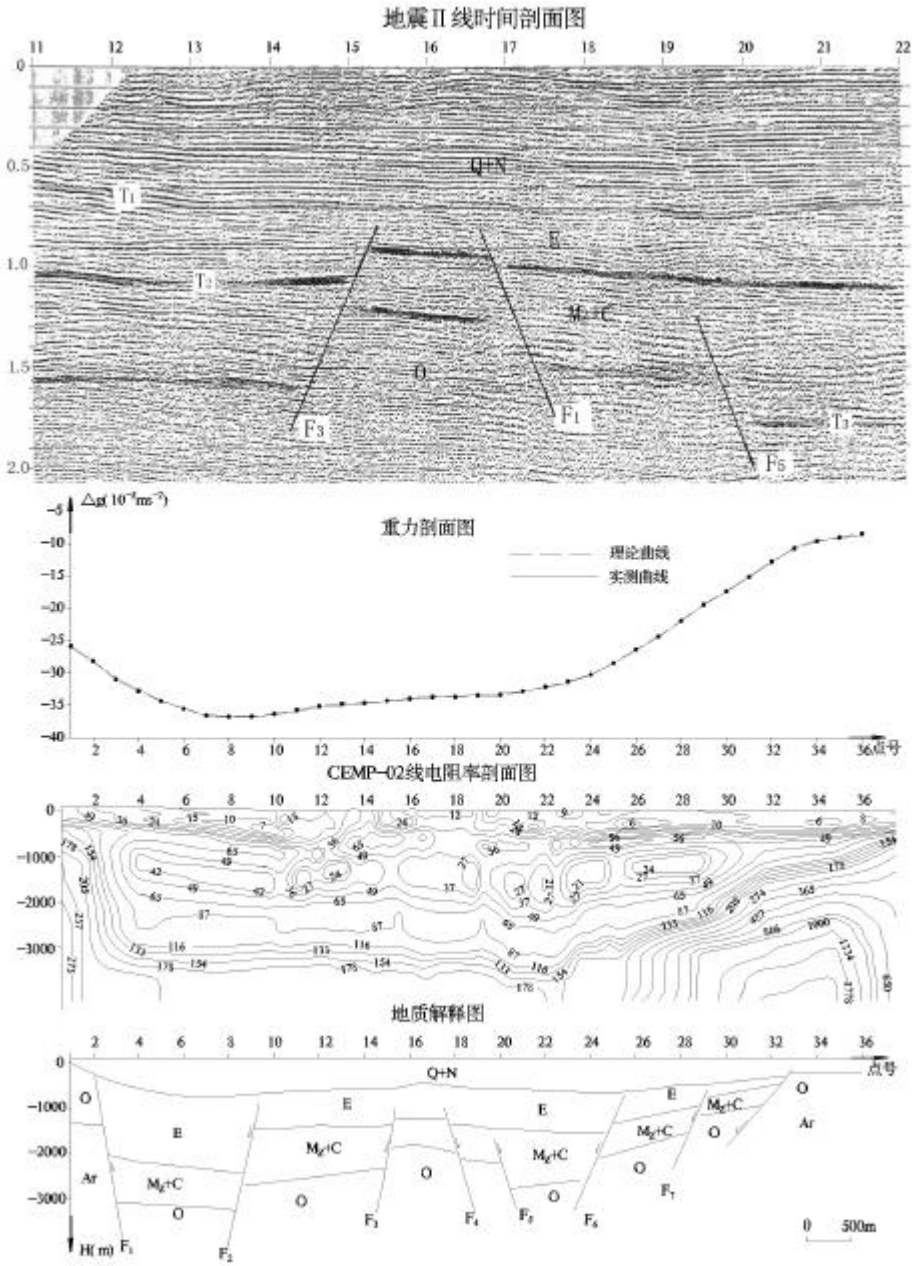


图 3 鹤壁市新区 CEMP-02 线综合解释剖面图

显示东西两端的电性结构与断陷内的电性结构明显不同(图 3)。

西端主要是 $\rho_{4-1}$ 高阻单层电性结构,显示太行山区裸露的下古生界分布区。其表层略低的次高阻系沟内浮土、风化层低阻层影响所致。其东以电性梯级带与汤阴断陷相接,显示 $F_1$ 断层。

东端主要是 $\rho_{1-1}$ 低阻层与 $\rho_{4-1}$ 高阻层双层电性结构,显示表层 Q+N 的连续展布,其下伏太古界变质岩,即内黄隆起区。其西以电性梯级带与汤阴断陷相接,显示 $F_6$ 断层,倾角较缓。

中部大段是汤阴断陷区的电性结构区。由上而下具有五个电性层,对应四个地层组合层。

(1)地面至海拔-600~-900m之间为 $\rho_{1-1}$ 低阻与 $\rho_{1-2}$ 次高阻层,由串珠状次高阻异常底界连线,其上为 Q+N 层,地层连续未断。2号点~9号点 Q+N 很厚,约 900m 厚,是由于深处 $F_1$ 、 $F_2$ 断层所致继承性凹陷造成,与浮山重力低对应,是引起重力低的主要因素。

(2)为一明显的较低阻层 $\rho_2$ ,该地层为 E 层。其下以 40~50 $\rho \cdot m$ 等值线视,由左向右,显示等值线同向扭曲及垂直陡变带,示 $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ 、 $F_6$ 四条断层。

(3)为一次高阻层 $\rho_3$ ,该层为 Mz+C 层。其下以 115 $\rho \cdot m$ 等值线视,由左向右,显示等值线同向扭曲,示 $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ 、 $F_6$ 四条断层。

(4)为明显的高阻层 $\rho_4$ ,为 O 层。剖面上的重力曲线两侧高,中部低,与断陷构造形态吻合。2号点~9号点为浮山重力低,与 $F_2$ 上盘陷落及 Q+N 增厚有关。

### 5.3 地震成果分析

从整体上看,时间剖面质量优良,面貌清晰,自上而下可划分 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 三个主要波组。

$T_1$ 波组:层间反射界面产状近于水平,反射层次较少,底界面反射波组能量很强,由 2-3 个相位组成,第二、三相位可全区连续追踪。波组视周期较小,视倾角变化也较小,地质解释为上第三系与下第三系之分界面,与区域地层特征吻合,没有断层切割现象。

$T_2$ 波组:该波组层间反射较多,且能量也较强,其底界面波组由 2-4 个相位组成,其中 2、3 相位全区可连续追踪,该波组视周期比 $T_1$ 波组略大,该波组厚度变化不大,地质解释为下第三系与中生界、二叠系、石炭系之分界面。

$T_3$ 波组:该波组连续性较好,能量较强,视周期较大,但波形不稳定,由 2-3 可连续对比的波组组成,第 2、3 波组可断续追踪,该波组被断层切割。底界面反射波的能量强,波形变化大,不稳定,有 2-3 个强相位组成,其上亦有多组平行的连续性好的强相位带,这是较典型的华北地台区奥陶系灰岩的地震波特征,地层产状与 $T_2$ 波组基本一致,地质解释为中生界-石炭系与奥陶系之分界面。

### 5.4 奥陶系古潜山构造形态

古潜山分布在 $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ 三条北东向断裂带之间,呈北东向北窄南宽楔状展布,在平面上呈两凸夹一凹形态,各断层均穿过该套地层,伸入下第三系内,奥陶系顶界面被切割成不同形状、不同高程的单斜面;故产状变化较大,分布在海拔-2500m上下,但靠近汤东断裂处可上抬 300~1000m。总体上呈中间较高,两侧较低的古潜山构造形态。

## 6 成果验证

2001年在新区成功施工了鹤热一井，该井完钻井深3276米，取水层位为奥陶系灰岩，获地热水1847m<sup>3</sup>/d，井口水温74°，CO<sub>2</sub>气体27704m<sup>3</sup>/d；钻孔层位与物探成果一致性较好。

## 7 结论和建议

本项目勘查技术特点是采用高分辨率可控源地震勘探、高分辨率连续电磁剖面（测深）法，高精度重力的综合勘查技术，该技术是国内外地质勘查部门针对特别复杂的地质区域新发展起来的新方法、新思路、新技术；对国内的地热勘探、城市物探、工程物探工作具有开创、示范及先导作用。通过运用这套新技术，使鹤壁市新区找到了替代煤炭能源的新型的绿色资源CO<sub>2</sub>和地热水，具有重大的地质科学研究价值和社会经济效益，可以预见鹤壁市新区地热和CO<sub>2</sub>资源的开发利用前景是非常广阔的，必将成为鹤壁市新的经济增长点。