

# CSAMT 在下辽河平原南部地热勘探中的应用

李德海

(辽河石油勘探局水文地质研究所, 辽宁 盘锦 124010)

**[摘要]** 可控源音频大地电磁测深(Controlled Source Audiofrequency Magnetotellurics, CSAMT)具有探测深度大、分辨能力高等特点。在油田多年勘探研究成果的基础上利用 CSAMT, 对下辽河平原南部锦采地区深层地热进行物探工作, 圈定深层地热源的空间赋存位置、规模、属性、连通性等, 取得了良好的勘探效果。锦水 1-01 地热井的成功完井也证实了这一点。

**[关键词]** CSAMT; 下辽河平原; 地热勘察; 地热井

**[中图分类号]** TK521+.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1004-1184(2008)01-0034-03

## Application of CSAMT for Terrestrial Heat Investigation in the South of Liaohe Plain

LI De-hai

(Hydrogeological Institute of Liaohe Petroleum Investigation Bureau, Panjin 124010, China)

**Abstract:** The CSAMT has characteristics of great detection depth, high distinguishing ability. Based on studied result of oilfield investigation for many years, the article takes CSAMT to carry on object sounding work for deep terrestrial heat in Jincai area of the south of the Liaohe Plain, encloses the space of the deep terrestrial heat source which deposits position, dimension, properties, connexity gets good investigation effect. No. 1-01 terrestrial-heat well approves this successfully in Jinshui.

**Key words:** CSAMT; the lower reaches of Liaohe Plain; terrestrial-heat investigation; the terrestrial-heat well

## 0 引言

随着社会经济的飞速发展, 能源短缺问题日益突出。众所周知, 常规的化石能源如石油、天然气和煤是十分有限的。据估计, 全世界的各种化石能源总量仅为 360 000 EJ, 而其中相对洁净的石油、天然气的资源量更是极为有限。因此, 寻找新型、环保的替代能源已成为各国高度重视的问题。近年来以太阳能、风能、潮汐能、地热能等为代表的绿色新能源的开发利用已成为世界能源研究的热点。其中地热能是蕴藏地下的不受地域、季节气象与昼夜影响的稳定能源。它具有稳定的能流参数、可全天候开采、使用方便、安全可靠、利用范围广等特点, 它被广泛应用于发电、采暖、种植、养殖、医疗保健以及工业等众多方面, 进行地热资源勘探开发具有非常广阔的前景。

## 1 区域概况

研究区位于大凌河西岸, 行政区隶属辽宁省凌海市西八千乡。调查区面积 256 km<sup>2</sup>, 重点区面积 100 km<sup>2</sup>, 地理坐标为: 东经 121°30' ~ 121°39', 北纬 40°52' ~ 41°00'。区内交通便利, 公路、乡公路四通八达, 详见工作区交通位置示意图(图 1)。

工作区构造位置属于下辽河坳陷西部凹陷西斜坡的南端, 下第三系构造的发育受整个基底的斜坡背景和古潜山地形的控制。无论哪个构造层, 其构造总貌都是一个东南向倾斜的斜坡, 在这个斜坡上沿走向又发育了披覆于潜山之上的鼻状构造——西八千鼻状构造和鸳鸯沟鼻状构造。地层发育为: 前第三系地层为太古界(Ar)和中上元古界的大红峪组(Chd)、高于庄组(Chg); 下第三系地层为房身泡组(Ef)、沙河街组(Es)、东营组(Ed); 上第三系-第四系的馆陶组(Ng)-平原组(Qp)。

**[收稿日期]** 2007-11-06

**[作者简介]** 李德海(1965-), 男, 辽宁铁岭人, 助理工程师, 主要从事水井钻井及地热勘探工作。

下辽河拗陷地温场主要受基底起伏的控制,平均大地热流值稍高于全国平均水平,由于本区处于西部凹陷的西斜坡地段,基底埋深较浅,因而工作区内地温梯度较高,大部分地区都大于3℃/百米,属温度异常地区。本区恒温带埋深30 m,温度10.5℃。

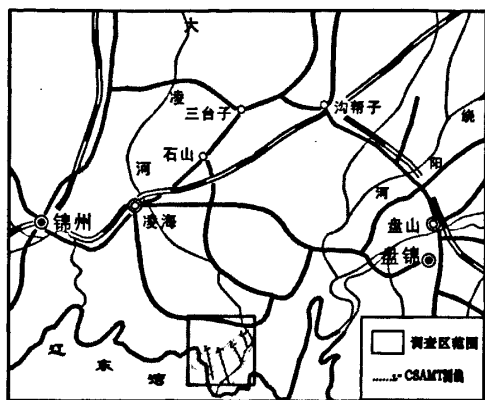


图1 工作区交通位置示意图

## 2 CSAMT 在深层地热勘探中的应用

### 2.1 CSAMT 工作原理

CSAMT 基本原理是基于电磁波传播理论和麦克斯韦方程组导出的水平电偶极源在地面上的电场及磁场公式:

$$E_x = \frac{I \cdot AB \cdot \rho_1}{2\pi r^3} \cdot (3\cos^2\theta - 2) \quad (1)$$

$$E_y = \frac{3 \cdot I \cdot AB \cdot \rho_1}{4\pi r^3} \cdot (\sin 2\theta) \quad (2)$$

$$H_x = -(1+i) \frac{3I \cdot AB}{4\pi r^3} \cdot \sqrt{\frac{2\rho_1}{\mu_0\omega}} \cdot \cos\theta \cdot \sin\theta \quad (3)$$

$$H_y = (1+i) \frac{I \cdot AB}{4\pi r^3} \cdot \sqrt{\frac{2\rho_1}{\mu_0\omega}} \cdot (3\cos^2\theta - 2) \quad (4)$$

$$H_z = i \frac{I \cdot AB}{4\pi r^3} \cdot \sqrt{\frac{2\rho_1}{\mu_0\omega}} \cdot \sin\theta \quad (5)$$

式中,  $I$ —供电电流强度;  $AB$ —供电偶极长度;  $r$ —从接收点之间的距离。通常, CSAMT 采用标量观测装置, 只要在地面上观测两个正交的水平电磁场 ( $E_x$ ,  $H_y$ ), 就可获得地下的视电阻率  $\rho_s$ 。将①式沿  $x$  方向的电场  $E_x$  与④式沿  $y$  方向的磁场  $H_y$  相比, 经过运算就可获得地下的视电阻率 ( $\rho_s$ ) 公式:

$$\rho_s = \frac{1}{5f} \frac{|E_x|^2}{|H_y|^2} \quad (6)$$

式中:  $f$ —频率。

又根据电磁波的趋肤效应理论, 导出了趋肤深度公式:

$$H \approx 503 \sqrt{\rho/f} \quad (7)$$

式中:  $H$ —探测最大深度,  $\rho$ —电阻率,  $f$ —频率。

### 2.2 数据处理方法

资料解释主要步骤包括: (1) 资料预处理, 极化模式转换; (2) 视电阻率曲线静态校正; (3) 近场校正; (4) 一维 Bostick 反演; (5) 二维曲线自动拟合反演; (6) 结果输出。

### 2.3 CSAMT 工作概况

本次工作共布设长短不同的剖面4条, 总长17.2 km, 测点间距为100 m, 电法坐标点168个, 电法检查点6个, 共计174个点。CSAMT 野外布置示意图见图2。

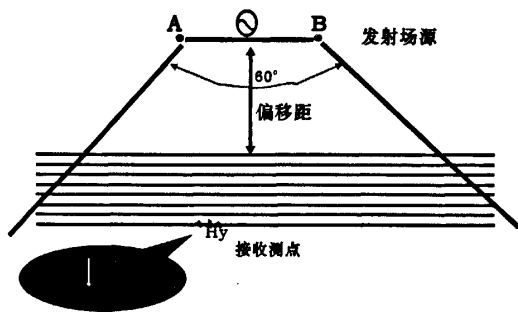


图2 CSAMT 野外布置示意图

### 2.4 CSAMT 工作成果

#### 2.4.1 CSAMT 曲线类型分析

首先对锦29井的地层数据和电测井的电阻率数据进行了统计, 然后根据井的分层及电阻率数据设计地电模型, 对地电模型进行正演, 得到测区典型的大地电磁测深频率范围电阻率正演曲线(图3)。该模型显示, 本区 CSAMT 典型曲线类型为 A-K-H-A 型。

#### 2.4.2 地质推断解释

本次资料解释结果是在分析本次地球物理成果基础上, 综合分析其它勘探成果得出的结果。从反演电阻率断面图上可见, 本次电法勘探成果清楚揭示了发育在工作区的断层(或称断层碎隙带), 特别是基底发育的断层, 它在电法剖面表现为电阻率等值线的陡立和不连续, 这是断层推测的主要依据。其中1号剖面共推断了3条断层。2号剖面共推断了5条断层。3号剖面共推断了3条断层。4号剖面共推断了3条断层。

#### 2.4.3 地热地质成果

依据对该地区有利热储的电性分析规律, 推断了有利热储的分布范围, 分别在东营组、沙<sub>1+2</sub>和沙<sub>3</sub>段三处热储中共划分出了6个有利区。其中4号剖面(见图4): 共划分2个相对有利热储。1号有利区位于

112号测点到124号测点之间,埋深1900~3100 m,热储地层为沙河街组三段高阻地层,电阻率24~30  $\Omega\text{m}$ 。2号有利区位于110号测点到122号测点之间,埋深1000~1300 m,厚约600 m,为东营组相对高阻地层,电阻率3~5  $\Omega\text{m}$ 。

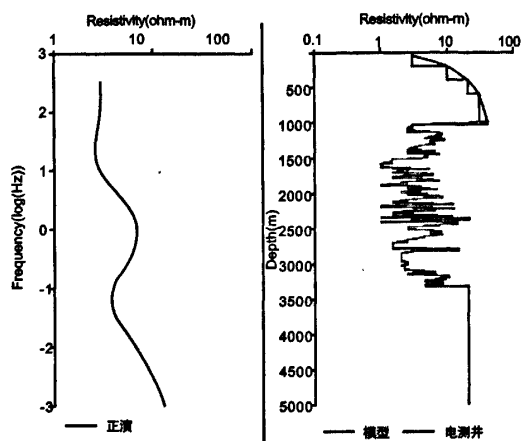


图3 测区典型地质模型的正演曲线

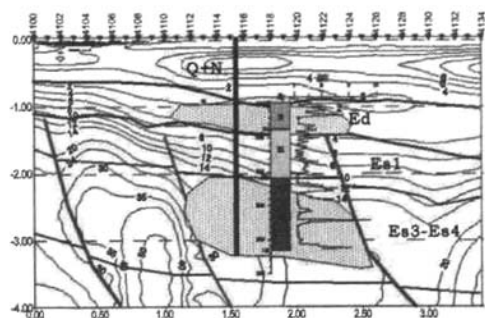


图4 锦采地区 CSAMT-4 测线剖面图

### 3 结论

在本区区域石油地质及水文地质资料的基础上,根据 CSAMT 工作成果所确定的有利热储层,我们在 CSAMT-4 线 116 号测点附近布置了一口地热井——锦水 1-01 井,设计井深为 2418 m。2007 年 9 月这口地热井成功完井。锦水 1-01 井具体完井数据:完井深度为 2412 m,井径为  $\Phi 177.8$  mm,单井出水量为 1160  $\text{m}^3/\text{d}$ ,水位降深为 30.16 m,水温为 74  $^{\circ}\text{C}$ ,地下水总矿化度为 5330  $\text{mg/L}$ 。

采用高分辨率可控源音频大地电磁测深,对下辽河地质区域复杂的地区进行地热勘探,并取得了可靠的结果。锦水 1-01 地热井的成功完井,CSAMT 起到

了决定性的作用。因此,CSAMT 对下辽河地区深层地热资源的勘探具有重要的指导作用。

#### 参考文献

- [1] 何继善. 可控源音频大地电磁法. 中南工业大学出版社, 1990.
- [2] 蒋达龙. CSAMT 法在勘查广东从化地下热水中的应用. 有色金属矿产与勘查, 1994(5).
- [3] 翟光明, 等. 中国石油地质志(卷三). 石油工业出版社, 1993.
- [4] 刘宏, 等. CSAMT 勘探方法在寻找地热中的应用. 物探装备. 2002(2).
- [5] 陈乐寿. 大地电磁测深法. 地质出版社, 1990.

(上接第 26 页) 毛细负压值随地下水位  $\Sigma \Delta S$  变化关系曲线,从图中可以看出毛细负压值随水位埋深的增大而增大,到一定深度时负压值趋近于一定值。在 0~15 cm 的范围中,毛细负压值基本为零,因为在地下水面以上存在一饱和毛细带,试样的孔隙都充满了毛细水。随着水位埋深的不断增大,支持毛细带下移,松散体里面的含水量逐渐减小,毛细负压值增大,当松散体中的含水量减小到田间持水度时,在没有蒸发的条件下,含水量将不再减小,毛细负压值趋近于一定值,所以应用真实给水度仪不仅能测出松散体毛细负压值,同时也可以反映出毛细负压值随地下水位埋深变化的特点。

### 3 结论

新设计的真实给水度仪能够很好的再现松散体在退水过程中,给水度  $\mu$  随地下水位埋深变化而变化的曲线关系,并且所测得的给水度值更接近于实际情况的给水度大小;而且能够测出松散体包气带的负压值,反映毛细负压值随水位埋深(含水量)变化的关系,实现了一体多用的功能。应用真实给水度仪能够为水资源评价,浅层地下水开采量计算,农田节水、排水等工程应用提供精确的水文地质参数。

#### 参考文献

- [1] 王大纯,张人权,史毅虹,等. 水文地质学基础[M]. 北京:地质出版社,1995.
- [2] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学. 北京:清华大学出版社,1988.
- [3] 马传明. 测定松散土体试样给水度实验仪的研制. 武汉:地质科技情报,2005. 7,第 27 卷.
- [4] 刘学军,杨维仁. 给水度测定方法研究. 陕西:地下水,2003. 12.