

# CSAMT 在福建贵安地热勘查中的应用

邓国泉, 程云涛

(湖南省核工业地质调查院, 湖南 长沙 410011)

**摘要:** 福建省地热主要以断裂控制为主。为提高地热资源的利用率, 寻找高温、大流量的水井, 采用可控源音频大地电磁法对贵安地热田进行勘查, 采用一维反演结果, 通过模拟泉水上涌时不同深度泉水面的分布特点, 来研究各断裂分布特征的方法, 查明了 NNW 向断裂  $F_1$  和 NEE 向断裂  $F_2$  的空间分布特征及其相互关系。钻孔结果证实了该方法寻找构造的可行性。

**关键词:** 可控源音频大地电磁法; 地热资源; 断裂构造; 贵安地热田

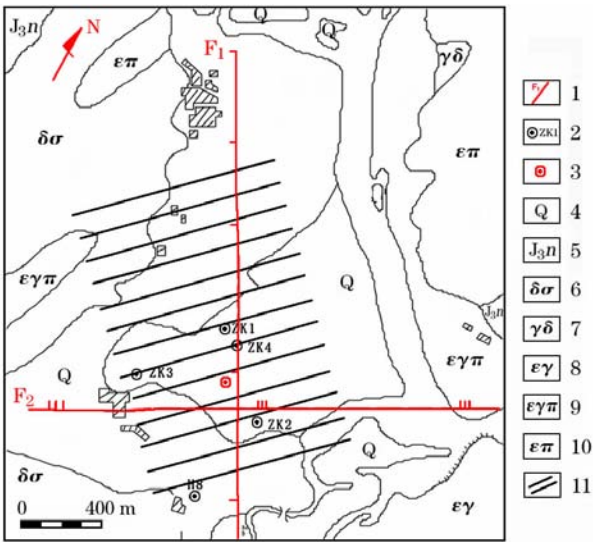
**中图分类号:** P631      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2011)06-0751-03

福建是我国地热资源丰富的省份之一, 受断裂控制, 温泉出露点多呈带状分布, 以贵安地热田为典型代表。贵安地热田位于福州北东方向, 临太平洋大陆边缘活动带的闽东中生代火山活动带中段。早在公元 1057 年, 贵安就已有开发利用温泉的史书记载。近年来, 随着经济发展, 地热资源的利用范围也越来越广, 价值也备受关注。

## 1 地质概况

贵安四面环山, 区内地形平坦, 略有西北高东南低之势, 形成北北西—南南东向展布似反“S”型山间断陷堆积小盆地。

贵安盆地及其外围地层出露简单, 除第四系外, 仅见侏罗系上统南园组(图 1)。第四系几乎披覆整个贵安河谷盆地中, 主要为黏土、砂、砾石等沉积, 一般厚度 0~60 m, 覆盖于燕山期侵入岩及南园组火山岩之下, 上侏罗南园组分布于盆地四周, 岩性单一, 主要为酸性、中酸性火山熔岩, 最大厚度 2 827 m; 下部以流纹质晶质凝灰溶岩为主, 上部是英安质凝灰溶岩、角砾溶岩类凝灰质细砂岩或粉砂岩薄层。该区燕山晚期岩浆活动频繁, 多侵入南园组火山岩中, 呈岩株、岩枝、岩脉状产出, 沿 NEE、NE 向展布。盆地处于 NNW 向断裂( $F_2$ )和 NEE 向断裂( $F_1$ )交汇处, 其中  $F_2$  断裂为张扭性, 总体走向北西  $330^\circ \sim 350^\circ$ , 倾向北东, 倾角  $70^\circ \sim 80^\circ$ ; 温泉沿断裂泄出;  $F_1$  断裂为压扭性, 总体走向为北东  $65^\circ \sim 75^\circ$ , 倾向南东, 倾角  $65^\circ \sim 80^\circ$ , 断裂带中的岩石挤压破碎, 表现出应力变质作用。<sup>[1]</sup>



1—推测断裂; 2—已有钻孔; 3—设计钻孔; 4—第四系; 5—侏罗系上统南园组; 6—石英闪长岩; 7—花岗闪长岩; 8—钾长花岗岩; 9—钾长花岗斑岩; 10—正长斑岩; 11—物探测线

图 1 贵安测区区域地质概况及物探工作布置

贵安盆地上部由第四系冲积、冲洪积等黏土和砂砾卵石组成, 下部由火山岩类和花岗岩类及各类脉岩组成。区内多处出露温泉, 主要储存于第四系含泥沙砾卵石中, 透水性好, 因顶板有一层黏土覆盖而具有承压性, 大多以中、低温为主<sup>[2]</sup>。图 2 模拟了贵安盆地取水现状, 大多数钻孔只打到第四系砂砾层, 未能打穿第四系至深部的断裂带, 无法得到高温、大流量的热水资源。所以本次的勘查目的就是寻找以岩体为热源、断裂导水的最佳含水位置。

根据福建第二水文队在福州地区数个热田实验

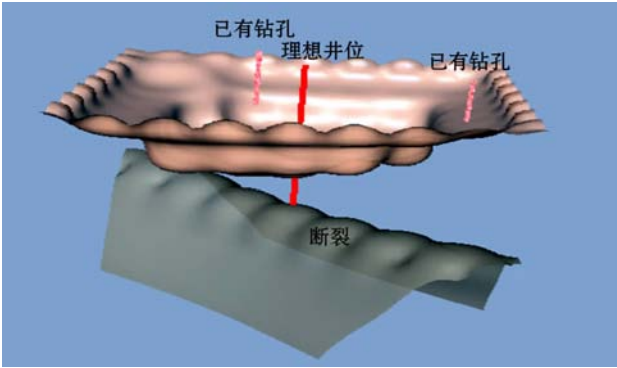


图2 模拟贵安盆地取水现状

统计表明:在含水地层或构造带,特别是温泉区,矿化度高,往往呈低阻反映,电阻率一般为数欧姆米至数百欧姆米;而完整的岩浆岩或变质岩体一般视电阻率均在  $2\,000\,\Omega\cdot\text{m}$  以上。

2 工作方法技术

测区内现有的温泉主要取自第四系地层,深度浅,水量小,温度低。为获得高温、大流量的热水资源,所以本次工作采用可控源音频大地电磁法(CSAMT)勘探,以穿透第四系低阻层,寻找深部含水构造部位。

本次工作共布设 13 条测深剖面(见图 1),线距 50 m,点距 40 m,异常部位点距加密为 20 m,以更准确地确定断裂构造的空间分布特征。发射极与接收机间距 6~7 km,  $AB=1\,800\text{ m}$ ,电流 10~8 A,最小有效勘探深度 800 m,最低频率为 4 Hz。

数据处理分为预处理和解释处理。预处理包括检查数据的误差和噪声,解释处理包括对特定数据近场校正,静态校正,地形校正和一、二维反演。一

维反演是在各测点的曲线响应基础上作单点反演,然后将同一测线的单点反演数据连成剖面,充分利用每点的信息,使相邻测点的细微差别在剖面上都有所反映。二维反演是把要拟合的数据扩展成一条剖面上若干测点处,且每个测点又都包括两种极化方式的结果,相邻点相互影响,采用有限元或有限差分等方法,不同程度上考虑到了地下电性的空间不均匀性,对局部异常有所压制<sup>[8-10]</sup>。为查明各断裂之间的关系,本次解释采用一维反演成果。

3 成果解释

通过对各剖面 CSAMT 测量结果的分析,基本查明了 NNW 向断裂和 NEE 向断裂及其次级构造的具体位置及产状。

图 3 显示了北东向的 4 条剖面,各剖面都存在一条低阻带,电阻率约为  $450\,\Omega\cdot\text{m}$ ,该低阻带从地表向深部延伸,产状较陡,5 线、11 线反映明显,且在深部低阻带的范围有所扩大,推断该低阻带为测区控水构造 NNW 向  $F_1$  断裂。该断裂切割深度大于 800 m,主要隐伏于第四系地层之下,断裂活动的力学性质主要表现为张剪性质,是区内出现最晚的一组断裂带,也是富含热水断裂带。盆地上部第四系地层电阻率约为  $150\,\Omega\cdot\text{m}$ ,由图可见厚度小于 100 m。

由于图 3 中的测线均为北东向布设,所以对 NEE 向  $F_2$  反映不明显。

根据物性参数,盆地下部的变质岩、岩浆岩体视电阻率均为  $2\,000\,\Omega\cdot\text{m}$ ,可通过对岩体分布特征的分析达到研究各个构造的目的。如图 4,以电阻率

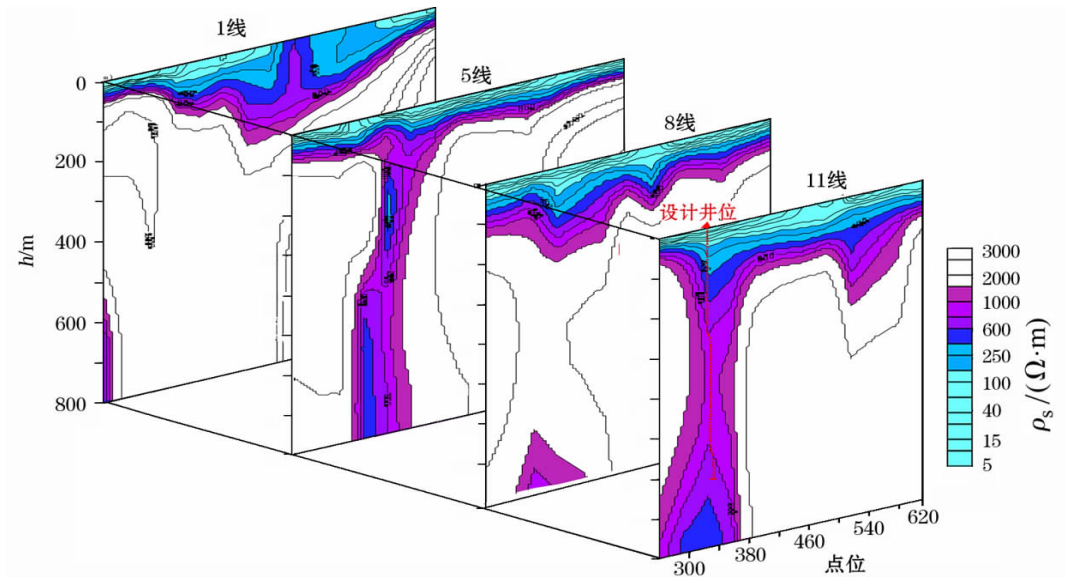


图3 4条测线的 CSAM 测深剖面

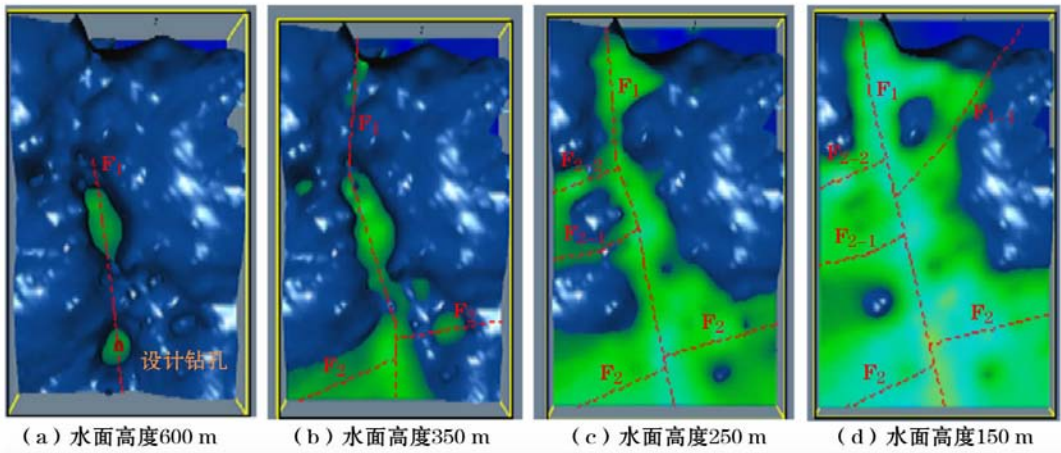


图 4 模拟泉水上升过程中各构造在不同深度的分布特征

2 000 Ω · m 为“等视面”,模拟泉水上涌时不同深度泉水面的分布,来分析各断裂在空间的分布特征,图中深蓝色为岩体,浅兰色为水面。当水面高度 - 600 m 时,仅见 F<sub>1</sub> 断裂,且在两处切割深度较大,呈现“北浅南深”的趋势;水面高度 - 350 m 时,断裂 F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 的分布形态和交汇位置基本确定,且 F<sub>2</sub> 被 F<sub>1</sub> 错开;水面高度 - 250 m 时,呈现两条平行 NEE 向断裂 F<sub>2-1</sub>、F<sub>2-2</sub>;水面高度 - 150 m 时,F<sub>1</sub> 的次级构造 F<sub>1-1</sub> 的形态确定。

纵上所述,断裂 F<sub>1</sub> 为该区的控水构造,切割深度大,倾向 NE,倾角 75° ~ 80°;断裂 F<sub>2</sub> 倾向 SE,倾角 80°,推测断裂带近地表较宽、富水性好,但深部断裂开启性差,该区晚期基性岩脉的分布与该组断裂构造展布方向一致,并见侵入与断裂构造中,因此,NEE 向断裂构造除具有一定的导水性外,更主要的应该是地下热源的通道。

通过对测区附近多处温泉做水样化验,利用二氧化硅含量作温标推算测区深部存在高温热液,平均温度约为 140 ℃。根据物探成果设计钻孔,布置在 NNW 向断裂 F<sub>1</sub> 和 NEE 向断裂 F<sub>2</sub> 两组断裂的交汇部位(见图 4a),设计深度 550 m。

经钻孔验证:在孔深 500 m 处见水,孔口水温 95 ℃,涌水量 5 500 m<sup>3</sup>/d,证实了应用 CSAMT 寻找深部构造的可靠性和可行性。

4 结论

通过对 CSAMT 反演数据的认真分析,结合测区地质背景合理选取岩体电阻率,模拟泉水上涌时

不同深度泉水面的分布特点来分析各断裂在空间的分布特征,寻找地下热源。本次物探工作共发现两条主要构造,两个断裂的交汇位置为最佳取水位置,实践证明了该方法的合理性。

参考文献:

[1] 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1985.

[2] 中国科学院地球物理研究所,福建省地质矿产局. 福建地热地球物理研究[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992.

[3] 李大心. 地球物理方法综合应用与解释[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2003.

[4] 何继善. 可控源音频大地电磁测深[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1990.

[5] 柳建新,胡厚革,刘春明. 综合物探方法在深部接替资源勘探中的应用[J]. 地质与勘探,2006,4(4).

[6] 程云涛. CSAMT 在厦门杏林湾寻找深部地热中的应用[J]. 工程地球物理学报,2010,7(1).

[7] 于昌明. CSAMT 方法在寻找隐伏金矿中的应用[J]. 地球物理学报,1998,41(1).

[8] 黄兆辉,底青云,侯胜利. CSAMT 的静态效应校正及应用[J]. 地球物理学进展,2006,21(4).

[9] 于泽新,敖颖锋,吕景增. CSAMT 法在辽西康杖子区深部探矿的应用[J]. 地质与勘探,2009,45(5).

[10] 李茂,许第桥,杨丽娟,等. CSAMT 法在松辽盆地伊胡塔地区嫩江组中的定位应用[J]. 物探与化探,2008,32(6).

[11] 柯汉生. 青龙金矿区的地质地球物理特征[J]. 地质与勘探,1987,(10).

[12] 陈银如,李坚,张虎生,等. 物探方法在红层基座阶地找水中的应用[J]. 物探与化探,2009,33(5).

水井地下物探资料,已有钻孔资料相互分析渗透,对比试验,分析所得地下地层单元,岩溶发育情况指导钻探布设新井位,在旱情严重,抗旱任务紧迫时期是一种行之有效的办法。

(3)成果解释时必须充分结合地质条件进行分析。本次物探工作结合地质条件,综合柱状图和电阻率断面图,推断了各个地层单元的埋深及含水岩溶发育情况,在发育较均匀的网状岩溶裂隙处确定井位,获得了好的找水效果。

参考文献:

[1] 陈乐寿. 构造电法勘探[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1991:76-77.

[2] STRA TA GEM 26716-01 Rev. B Operation Manual Geometerocs & EMI Electromagnetic Instruments, Inc. 1996.  
[3] 孙升林,倪新辉,龚惠民,等. EH4 电磁成像系统在中西部岩溶区地下水勘查中的应用[J]. 中国煤田地质,2001,9(13).  
[4] 杨湘生. 综合电法在黄花国际机场后勤基地找水中的应用[J]. 物探与化探,2009,33(4).  
[5] 伍岳. EH4 电磁成像系统在砂岩地区勘查地下水的应用研究[J]. 物探与化探,1999,10(23).  
[6] 刘江. EH4 电导率成像系统在陕北找水中的应用[J]. 陕西煤炭,2003,1(2).  
[7] 倪芬明,刘志田. 应用 EH4 电磁仪寻找地下水[J]. 石油仪器, 2001,2(15).  
[8] 严良俊,陈清礼,胡文宝,等. 灰岩溶洞发育区浅层瞬变电磁法找水效果[J]. 工程地球物理学报,2004,2(1).

THE APPLICATION OF EH4 ELECTROMAGNETISM TO WATER RESOURCE EXPLORATION AND DROUGHT RESISTANCE IN SOUTHWEST CHINA

YANG Jian, WANG Yong-hua, JIAO Yan-jie ,WU Wen-xian, YANG Jun-bo  
(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** This paper reports the water exploration result of the EH4 electromagnetic system. Following the principle of "from known to unknown", the authors arranged the geophysical exploration work closely in combination with geological data, obtained complete geophysical data and made fairly reasonable interpretation, thus attaining quite satisfactory water prospecting result.  
**Key words:** EH4 electromagnetic system; drought resisting; underground water exploration;hydrogeological investigation

作者简介: 杨剑 (1983 - ),男,硕士,成都地质矿产研究所助理工程师。

上接 753 页

THE APPLICATION OF CSAMT TO THE EXPLORATION OF GEOTHERMAL RESOURCES IN GUIAN, FUJIAN PROVINCE

DENG Guo-quan,CHENG Yun-tao  
(Hunan Nuclear Geology Institute, Changsha 410011, China)

**Abstract:** Geothermal fields in Guían of Fujian Province are mainly controlled by faults. Using one-dimensional inversion results and CSAMT method, the authors simulated the spring when the upwelling spring water surface was distributed at different depths to study the distribution pattern of the faults, and found the spatial distribution of faults and the relationship between various faults in the study area, and the effectiveness of the result was proved by drilling. The result shows that this means is effective in looking for fault structure.  
**Key words:** CSAMT; geothermal resource; fault structure; geothermal fields in Guían

作者简介: 邓国泉 (1958 - ),男,湖南省核工业地质调查院研究员级高级工程师,水文地质专业。