

# 电磁测深方法在深部地热资源调查中的应用

黄力军 陆桂福 刘瑞德 杨冠鼎

(中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所 河北 廊坊 065000)

摘 要:以可控源音频大地电磁测深应用实例,讨论电磁测深方法在深部地热资源调查中的应用问题。

关键词:电磁测深 深部地热资源 资源调查

中图分类号:P631.3

文献标识码:A

文章编号:1000-8918(2004)06-0493-03

作为绿色能源,地热资源的开发利用日益受到人们的广泛重视。地球物理勘查是地热资源地质调查的重要手段之一。由于地下热水能够使岩层电阻率降低,所以以往地热资源调查中,直流电阻率法一直占主导地位。随着地热资源开发的深度越来越大,大多已超过 2 000 m,地表观测到由地热异常引起的电阻率差异越来越小,所以深部地热资源地质调查的主要任务是勘查热储地层及地质构造分布情况。近几年,我们采用可控源音频大地电磁测深法(CSMT),分别在北京、辽宁、河北和浙江等地进行了深部地热资源调查,取得了较好的地质效果。

岩浆和断陷盆地型热水是目前国内利用最多的地热资源。文中以可控源音频大地电磁测深法勘查这 2 种类型地热资源的结果为例,讨论电磁测深法在地热资源调查中的应用问题。

## 1 断陷盆地型地热资源

断陷盆地型地热资源埋深相对较大,以中低温为主,分布面积较广,是目前利用最广的地热资源,

在北京已经得到广泛的开发和利用。北京市及周边地区蓟县系雾迷山组白云岩厚度较大,埋深一般  $(0 \sim n) \times 1\,000\text{ m}$ ,其岩溶裂隙发育、热导率值较高,是北京市主要热储地层。

野外工作使用美国 Zonge 公司生产的 GDP-32 多功能电法仪。可控源音频大地电磁测深采用赤道偶极装置进行标量测量,一般选择供电极距  $AB = 1\,000\text{ m}$ ,收发距  $r > 6\,000\text{ m}$ ,测量极距  $MN = 50\text{ m}$ ,测点距为 50 m。电阻率反演采用圆滑反演解释方法,利用反演电阻率断面进行地质解释。

### 1.1 实例 1

图 1 是北京市远郊勘查实例。测区大部为第四系所覆盖,第四系由粘土、粉砂和砂砾石组成;第四系下部为侏罗系,岩性主要为砂岩,侏罗系下部为蓟县系,岩性主要为白云岩。区内第四系电阻率较低,约  $20\ \Omega \cdot \text{m}$ ,侏罗系砂岩电阻率为  $50 \sim 100\ \Omega \cdot \text{m}$ ;蓟县系白云岩电阻率大于  $500\ \Omega \cdot \text{m}$ 。各时代地层岩性之间电阻率存在明显差异,为电法勘探工作提供了充分的地球物理前提。

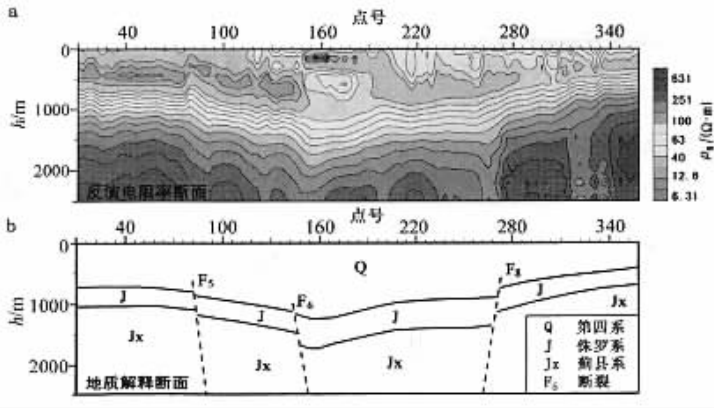


图 1 可控源音频大地电磁测深反演电阻率和地质解释综合断面

图 1 是该区 × 线可控源音频大地电磁测深反演电阻率和地质解释综合断面。由图 1a 可见,断面内电阻率横向变化较大,断面中部表层低阻层较厚,两侧逐渐变薄,明显表现出断陷盆地的电性特征。沿断面分别在 80、150 和 260 点附近出现清晰的电阻率横向变化带,为断层( $F_5$ 、 $F_6$ 、 $F_8$ )产生,这些断层断距均相对较大。由于断面内电阻率纵向“分层特征”非常明显,根据电阻率分布情况及曲线特征,很容易区分出第四系、侏罗系砂岩和蓟县系白云岩界线(图 1b)。经钻探验证上述推断结果与实际情况基本一致,蓟县系白云岩及上覆地层的解释深度误差小于 10%,已开发出中温热水。

1.2 实例 2

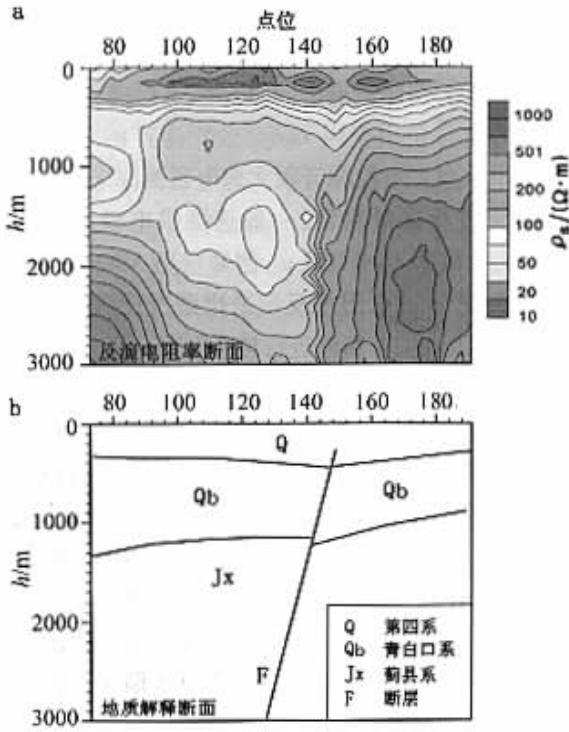


图 2 反演电阻率和地质解释综合断面

勘探区距离北京城区较近,地表大部为第四系所覆盖,根据邻近区钻孔资料,第四系下部依次为侏罗系、石炭系、二叠系、奥陶系、寒武系、青白口系和蓟县系。第四系由粘土、粉砂和砂砾石组成,侏罗系岩性主要为砂岩、安山岩、凝灰岩;奥陶系岩性主要为白云质灰岩,寒武系岩性主要为页岩、泥质和白云质灰岩,青白口系岩性为页岩和灰岩,蓟县系岩性主要为白云岩。区域电性资料统计结果,第四系电阻率较低,约  $20 \Omega \cdot m$ ,侏罗系  $100 \sim 250 \Omega \cdot m$ ,石炭、二叠系  $10 \sim 40 \Omega \cdot m$ ,奥陶系  $300 \sim 800 \Omega \cdot m$ ,寒武系  $250 \sim 500 \Omega \cdot m$ ,青白口系  $50 \sim 350 \Omega \cdot m$ ,蓟县系  $400 \sim 1000 \Omega \cdot m$ 。区内地层较为复杂,相邻地

层间电阻率差异不太明显,给地质推断解释工作带来很大难度。

图 2 是该区 × 线可控源音频大地电磁测深反演电阻率和地质解释综合断面。由图 2a 可见,140 点附近电阻率出现横向间断现象,为断层 F 产生;一般情况下青白口系电阻率相对较低,由于断层两侧青白口系内穿插有闪长岩脉,所以断面内青白口系电阻率比其它区青白口系电阻率偏高,断面内中部( $1000 \sim 2500 m$ )出现有相对低阻区,断面内低阻对应的是蓟县系,正常情况下,蓟县系可控源音频大地电磁测深反演电阻率应大于  $100 \Omega \cdot m$ 。钻探验证结果:1200 m 见破碎的蓟县系白云岩,出水温度  $70^{\circ}C$ 。CSAMT 反演电阻率断面内低阻异常主要为高温地下热水产生,是目前可控源音频大地电磁测深直接反映大深度地下热储较为成功的实例。

上述结果表明,一定条件下电磁测深法能较好地承担断陷盆地地热资源地质调查工作。当地下热水温度较高,热储范围较大时,电阻率异常可以反映出热储的空间分布情况。

2 岩浆型地热资源

岩浆型地热资源与岩浆活动有关,其埋深较浅,分布范围较小,温度较高。

辽宁省的某勘探工区,区内为第四系覆盖,据钻井揭露,部分地段第四系下部有第三系,下部为花岗岩体。第四系主要为粘土、亚粘土、砂和砾石;第三系岩性主要为砂岩和砂砾岩。花岗岩为中侏罗期侵入的千山花岗岩体,岩体内穿插有闪长岩脉。未收集到区内电性资料,正常情况下各地层电阻率为:第四系  $10 \sim 20 \Omega \cdot m$ ,平均厚 100 m;第三系  $30 \Omega \cdot m$  左右,厚度  $10 \sim 70 m$ ;花岗岩大于  $2000 \Omega \cdot m$ 。花岗岩体内断裂和裂隙是区内热储的主要赋存部位,由于第四系覆盖,很难确定岩体构造展布和延伸情况。区内已完成多口勘探井,做过瞬变电磁测深、直流电阻率法和磁法等物探工作,由于构造复杂、电阻率差异较小,前期工作结果无法正确推断出实际地质情况。我们采用可控源音频大地电磁测深方法进行面积性测量,勘探深度 2000 m。

图 3 是该区 × 剖面可控源音频大地电磁测深反演电阻率和地质解释综合断面。剖面内 700 点附近有 1 个已知钻孔 ZK7,第四系厚 92 m,第三系厚 67 m,下部是花岗岩。对比可控源音频大地电磁测深反演电阻率断面(图 3a)和地质解释断面(图 3b)可以看出,小于  $20 \Omega \cdot m$  的低阻层比较稳定,一般厚

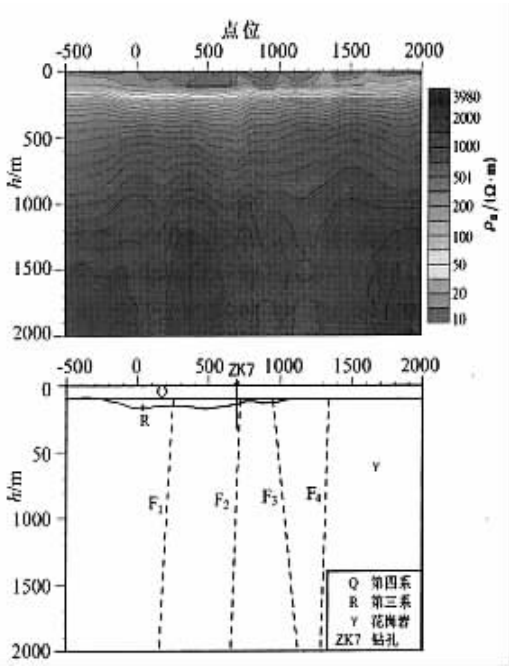


图 3 反演电阻率和地质解释综合断面

100 m 左右 ,与第四系有较好的对应关系  $\rho \sim 700$  点 100 ~ 200 m 深度间电阻率纵向梯度变化相对较小 ,其间出现相对低阻带 ,对应第三系 ,其下部高阻层界面为花岗岩顶界面。

断面内分别在 200、700、950 和 1 350 点附近出现电阻率横向变化梯度带(相对低阻带) ,根据其连续性和已知地质资料推断这些相对低阻带为断层 ( $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ )引起 ,其中  $F_2$  断层为目前主要开发热水的热储构造。后来利用上述推断结果与实际地热开发情况对比 ,可控源音频大地电磁测深资料的地质解释结果与实际情况基本一致。需要说明的是 ,虽然区内地热温度较高(一般出水大于  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ,

由于储热构造范围较小 ,所以其产生的电阻率异常相对不够明显。

3 结论

随着越来越多的地热资源开发利用 ,开发深度也会越来越大 ,开采风险也随之加大 ,所以开发者越来越重视前期勘探工作。事实证明 ,进行前期地热资源调查可以提高效率、降低成本、减少不必要的投资。用于地热资源勘查的地球物理和地球化学方法较多<sup>[1]</sup> ,但随着勘探深度加大 ,地表采集到信息将逐渐减弱 ,一些方法的有效性明显降低。

上面虽然讨论的是可控源音频大地电磁测深在地热资源勘查方面的应用效果 ,但也可适用于其它电磁测深方法 ,常用的电磁测深方法包括瞬变电磁测深、大地电磁测深和频率测深(可控源音频大地电磁测深是一种频率测深方法) 。目前大深度地热资源勘查主要任务是查明热储地层和构造空间分布情况 ,随着温度升高 ,介质电阻率将随之降低 ,当地热资源埋深较浅时或由于地下热水引起的异常相对明显时 ,电阻率异常是寻找地热资源的主要标志。所以随着勘探深度加大 ,必须提高勘查手段的观测、解释精度 ,加大勘探深度 ,提高方法的实际应用效果。另一方面 ,引起地下电阻率变化的因素很多 ,利用电磁测深法勘查地热资源 ,需要结合已知地质、地球物理特征和其它有关资料进行综合研究 ,合理地进行地质解释。

参考文献 :

[ 1 ] 黄力军. 物探方法在地热调查中的应用效果. 物探与化探 , 1988 ( 2 ) :129 - 133.

THE APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC SOUNDING METHOD  
IN DEEP GEOTHERMAL INVESTIGATION

HUANG Li-jun ,LU Gui-fu ,LIU Rui-de ,YANG Guan-ding

( Institute of Geophysical and Geochemical Exploration ,CAGS ,Langfang 065000 , China )

**Abstract :** Based on the examples of controlled source audio-frequency magnetotellurics application ,the paper discusses the problems of electromagnetic sounding in deep geothermal investigation.

**Key words :** electromagnetic sounding ;deep geothermal ; investigation

作者简介 :黄力军( 1954 - ) 男。1992 年获中国地质大学( 北京 )硕士学位 ,教授级高级工程师 ,主要从事电磁法勘查研究和生产工作。万方数据