

综合地球物理勘查技术在地热勘查中的应用

金永念, 张登明, 刘志平

(江苏省地质调查研究院, 南京 210018)

摘要: 以张家港市西张镇地热资源勘查为例, 在物性认识基础上, 应用重力、航磁、直流电测深、可控源音频大地电磁测深等地球物理勘查技术, 对查区地热盖层、储层、导水构造进行研究; 在物探建议的井位钻探, 千米深度钻遇低温热水, 井口水温 45℃, 单井出水 810m³ ~ 1180m³/d。

关键词: 综合地球物理勘查; 储层; 盖层; 导水构造

中图分类号: P631.8; P622⁺.2

文献标识码:

文章编号: 1000-3665(2005)06-0092-04

江苏省张家港市西张镇地热资源勘查是江苏省地质调查研究院首次在非温泉出露地区开展的深部地热勘查项目, 也是苏南深部非温泉型低温热水勘查首次取得成功^[1]。在西张地热勘查过程中, 重力、航磁、直流电测深、可控源音频大地电磁测深等综合物探技术在盖层、储层、导水构造的发现和解释中起了关键性作用。

1 综合物探勘查思路

调查区大地构造位置位于华南板块下扬子陆块苏锡褶断隆起上^[2,3], 构造格架呈两隆两凹特征, 两隆是段山—张家港褶断束和顾山—同官山褶断束, 两凹是祝塘—锦丰凹陷和荡口—梅李凹陷。伴随褶皱, NE向、NW向断裂构造发育, NE向断裂与褶皱主构造线方向一致, 控制晚中生代盆地的发育; NW向断裂将隆凹构造切成棋盘格式。

区内中志留统以前地层未见, 中志留统晚期—晚泥盆统早期、早—中侏罗统、晚白垩统晚期—渐新统地层缺失; 中—古生界青龙组、长兴组、栖霞组、船山组、黄龙组灰岩是岩溶裂隙水的主要赋存层位, 浦口组、龙潭组为主要隔水层。

在分析勘查区地质资料基础上, 首先确立以二叠系煤系地层为盖层、二叠系栖霞灰岩为储层和其中的破碎带为导水构造的地热勘查工作思路和勘查对象, 物探工作的重点就是在给定勘查区范围内找到具有一定厚度的盖层和一定深度的储层, 并在储层中确定破碎带或岩溶的具体位置, 即“三合一模式”。为实现“三合一模式”, 专门制定了物探工作方案, 其技术路线为: 从

重力、航磁、直流电测深方法入手圈定勘查区内的隐伏构造; 重力、电测深方法联合, 圈出盖层、储层发育带并估算埋深和厚度; 用磁测技术排除钻遇火成岩的风险。

本文以上述工作为基础, 在有利地段进行剖面性可控源音频大地电磁测量, 确定盖层厚度、储层顶界埋深和破碎带产状及钻探井位。

2 地球物理勘查前提

地层岩石的物性差异是地球物理勘查工作的前提, 在物探工作开展之前, 首先对勘查区的物性进行了调查研究^[4]。

不同时代地层间的密度变化较大, 总体上碳酸岩类地层密度高于碎屑岩类地层; 垂向上, 存在 6 个密度层 5 个密度界面(表 1); 5 个密度界面分别与第四系底界、印支侵蚀面(三叠系青龙灰岩顶面)、二叠系煤系地层顶界、二叠系栖霞灰岩顶界和泥盆系顶界相对应, 其中的第二、第四密度界面是产生重力异常的主要地质因素, 界面的隆、凹与重力高、低异常相对应。就是说, 中、新生代盆地形成明显的重力低异常, 青龙灰岩、栖霞灰岩及以老地层的隆起或凸起形成明显的重力高异常。

表 1 密度层地质属性表

Table 1 Geological features of the density layer

密度层	平均密度值 ($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$)	地质属性
第一密度层	1.93	Q
第二密度层	2.46	K _p
第三密度层	2.68	T _q - P _c
第四密度层	2.46	P ₁
第五密度层	2.66	P _q - C
第六密度层	2.59	D - S

收稿日期: 2005-02-18; 修订日期: 2005-04-14

作者简介: 金永念(1959-), 硕士, 高级工程师, 长期从事物探工作。

E-mail: jinyon182@126.com

区内地层呈无磁或弱磁特征, 磁化率 κ 值大多在 $100 \times 10^{-6} \text{ SI}$ 以下, 磁场图上以平静负磁场或平缓磁

场为主要特征。

地层、岩石间存在明显电阻率差异,成岩地层电阻率高于疏松层,碳酸岩类地层电阻率高于碎屑岩类。地电结构模式: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4 < \rho_5 > \rho_6 < \rho_7$, 地质属性见表2。

表2 电性层地质属性表

Table 2 Geological features of the electrical property layer

电性层	地质属性
ρ_1	第四系表土层
ρ_2	第四系砂、粘土互层
ρ_3	第四系底部粘土层
ρ_4	白垩系红砂岩
ρ_5	三叠系青龙灰岩
ρ_6	二叠系龙潭煤系
ρ_7	二叠系栖霞灰岩

第四系电性特征取决于含水砂层即古河道发育程度,含淡水砂层呈相对高阻,电阻率范围 $20 \sim 60 \Omega \cdot m$; 中生代陆相碎屑岩电阻率低于 $100 \Omega \cdot m$; 印支面以下灰岩均呈高阻特征,碎屑岩电性测定电阻率偏低。由此可见,印支面及栖霞灰岩顶部均构成高阻电性标志。

上述密度、磁性和电性特征说明,本次勘查对象盖层具低密度、低磁和低阻特性,储层具高密度、低磁和高阻特性,并推知构造破碎带呈高阻背景中的低值异常形态。

3 重、磁、电异常推断隐伏构造带

重力图上(图1),调查区落在规模较大的顾山—妙桥 NE 向梯级带上,梯级带在西张有局部扭曲现象,说明沿梯级带有较大规模的 NE 向断裂构造带(F_1)存在,且受到后期 NW 向断裂构造带(F_2)的错动。梯级带北侧重力异常单调,场值向北渐低;其中,西张 NW 侧重力值相对较高部分为青龙灰岩的反映,其余低值部分为厚层龙潭煤系和白垩系的反映。梯级带南侧不仅重力背景高,而且分布着局部高重力组成的串珠状北东向重力异常高带,极值范围 $22 \times 10^{-5} \sim 24 \times 10^{-5} m/s^2$,是中—古生代灰岩的反映。

磁场图上(图2),调查区处在平静负异常与平缓升高异常的过渡带上,过渡带位置与重力异常反映的 NW 向构造(F_2)一致,说明该构造具重磁同源性,有一定的切割深度。调查区外围有升高波动异常分布,但调查区内异常平静、单调,反映调查区周边有岩浆活动,而调查区内没有火成岩体分布,可排除钻遇火成岩体的风险。

电测深 AB/2 = 2 250m ρ_s 平面等值线图(图3),

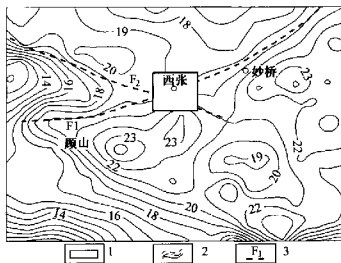


图1 布格重力异常图(单位: $\times 10^{-5} m/s^2$)

Fig.1 Contour map showing the gravity abnormality

1—地热靶区;2—重力异常等值线;3—推断断裂构造

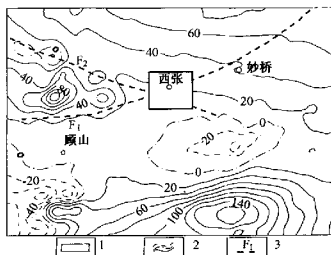


图2 航磁异常图(单位:nT)

Fig.2 Contour map showing the aeromagnetics abnormality

1—地热靶区;2—航磁异常等值线;3—推断断裂构造

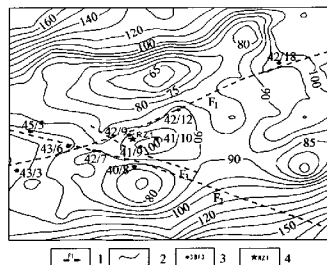


图3 地热靶区电测深 AB/2 = 2 250m 平面等值线图

Fig.3 Contour map showing electrical sounding results at a depth of 2 250m in the geothermal target area

1—推断断裂构造;2—视电阻率异常等值线;
3—直流电测深点及编号;4—地热井

45/5→43/6→42/7→40/8—一线和 43/3→42/12→42/18—一线分别有 NW 向构造带和 NE 向构造带存在,前者与航磁反映的 NW 向构造(F_2)一致,后者与重力梯级带反映的 NE 向构造(F_1)一致。

4 重力、电测深联合圈出盖层和储层发育带并估算埋深和厚度

重、磁、电异常分析结果,调查区内不仅分布有NE、NW向构造带,而且在西张镇西南就有构造交汇部位存在,距西张镇很近,且南侧深部有局部高阻体存在和密度升高现象,推测局部高阻体由储层引起,上有龙潭煤系盖层,是开展深部地热工作的理想靶区。

由重、电同高圈出储层发育带后,对西张镇南侧的局部高阻体进行了非约束条件下的一维电测深反演,估算盖层厚度和储层埋深。

反演结果,高阻异常中心10线41号点栖霞灰岩上顶埋深851m,上覆盖层厚度700余米;高阻异常边缘9线41、42号点,栖霞灰岩上顶埋深分别为1262m和1218m,盖层厚度近千米,说明西张镇南侧“储层”上顶埋深近千米,“盖层”厚度700m以上,有很好的储、盖条件。

5 可控源音频大地电磁测量定孔位

在重力、航磁、直流电测深等技术方法圈出地热水成井有利靶区后,进行了剖面性可控源音频大地电磁测量,具体确定盖层厚度、储层顶界埋深和破碎带产状及位置,并最终确定孔位。

可控源音频大地电磁测深法(简称CSAMT法)是以有限长接地电极极为场源,在距偶极中心一定距离处同时观测电、磁场参数的一种电磁测深方法。测量时观测与场源平行的电场水平分量 E_x 和与场源正交的磁场水平分量 H_y ,然后利用电场振幅 E_x 和磁场振幅 H_y 计算阻抗电阻率 ρ_s 、用电场相位 E_ϕ 和磁场相位 H_ϕ 计算阻抗相位 ϕ ,最终以阻抗电阻率和阻抗相位联合反演电阻率参数并进行地质推断解释。

本次CSAMT实测剖面5条^[5],供电电极距(AB)=1000m,接收电极距(MN)=50m,点距50m,工作频率范围(f)=0.5~2048Hz,收发距(r)=4600~5500m,用赤道偶极装置进行标量测量,采集的数据由美国Zonge公司提供的拟二维反演程序进行自动反演,经塘60孔标定认为Ⅲ线73号点深部低阻异常为最好的布钻位置(RZ1,图3)。

Ⅲ线CSAMT剖面位于 F_1 断裂南侧,与 F_2 断裂大致平行,其反演电阻率断面图上(图4),由浅到深电阻率逐渐升高,层状性明显;塘60孔揭露地层为三叠系青龙组(Tq)灰岩和二叠系孤峰组(Pg)砂岩,2号孔见有极薄的二叠系长兴组(Pc)灰岩,其下部为二叠系龙

潭组(Pt)和孤峰组(Pg)砂岩。

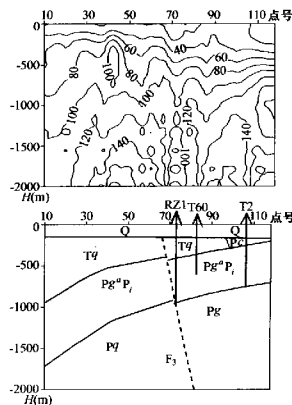


图4 西张地区CSAMT勘查Ⅱ线断面解译图

Fig.4 Interpretation of CSAMT contour profile at line II in Xizhang

由已知钻孔对Ⅲ线CSAMT剖面约束解译结果为:地层总体倾向WS,盖层、储层发育,盖层厚度大于600m,储层73号点上顶埋深960m左右。断面图上68~76号点范围内出现高阻中的低值异常带,推断为断层引起,倾向NE,是 F_2 断裂的次级构造,编号 F_3 。 F_3 断层下切深度大,与 F_1 相交部位是重要的导热、导水构造,结合地层因素,认为Ⅲ线73号点附近为地热勘查布孔的最有利位置。后经钻探验证,960m以下见栖霞灰岩,岩溶裂隙发育,单井出水量810~1180m³/d,井口水温45℃。

6 结语

张家港市西张镇地热勘查历经1年,在项目的论证、调查工作中,充分应用了包括重力、航磁、直流电测深、地温测量、可控源音频大地电磁测深等综合物探方法技术,展示了物探多元信息技术在非温泉水露地区地热勘查中的有效性和重要性。重力、航磁、直流电测深方法能够快速有效地确定地热勘查靶区,排除钻遇火成岩体的风险;可控源音频大地电磁测深则能在地质构造推断、地热井位选择方面发挥很好的作用。

参考文献:

- [1] 张登明. 苏南地区第一口地热深井成功出水[J]. 江苏地质, 2004, 28(3): 133.

5 结论

(1) 本文关于浅基础底面设计方法,概念清晰,计算准确、简便;

(2) 弯矩应力系数 k_m 能真正反映弯矩的相对大小,它从 0~0.6 变化,“大小偏心”一目了然;

(3) 本文方法从教学上便于理解概念,从工程设计上大大地减少了计算工作量,使得设计更为合理、计

算机编程更为简单;

(4) 由于它直接用地基土的重度、埋深等参数表示,使得勘察与设计工作有机结合前进了一大步。

参考文献:

- [1] 吴湘兴.土力学及地基基础[M].武汉大学出版社,1994.

The New Design and Computing Method of Shallow Foundation

XIAO Ren-cheng

(Nanhua University, Hengyang 421001, China)

Abstract: This paper studies the new theory method for the design of the foundation. Based on the engineering design, it presents the coefficient of bending stress k_m . The coefficient k_m is the direct ratio to the bending moment, thus the right size of the foundation with various moments is determined directly and the computer program is very simple.

Key words: shallow foundation; foundation capacity; coefficient of bending stress

编辑:李智彦 王宏

(上接第 94 页)

- [2] 张登明,刘志平.张家港市地热资源调查立项论证报告[R].江苏省地质调查研究院,2003.6.
- [3] 张登明,刘志平,金永念.江苏省张家港市西张地区地热钻井选址调查报告[R].江苏省地质调查研究院,2004.7.

- [4] 金永念.张家港西张地热钻井选址调查论证项目综合地球物理选区评价[R].江苏省地质调查研究院,2003.1.
- [5] 黄力军,陆桂福.张家港市西张地区可控源音频大地电磁测深勘查工作报告[R].中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,2003.8.

The application of integral geophysical survey technology in geothermal exploration

JIN Yong-nian, ZHANG Deng-ming, LIU Zhi-ping

(Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China)

Abstract: Taking the geothermal exploration near the Xizhang town in the city of Zhangjiagang as an example, the caprocks, geothermal reservoirs and permeable structures in the study area have been analyzed by applying the techniques of gravity, aeromagnetics, electrical sounding as well as controlled source audio-frequency magnetotellurics based on the knowledge of petrophysical parameters. Boring was carried out at the position of geophysical abnormality and a thermal groundwater has been found at a depth of 1 000 m with temperature of 45°C and water yield of 810~1 180 m³/d.

Key words: integral geophysical survey; geothermal reservoirs; caprocks; permeable structure

编辑:汪美华 吴霞芬