物探综合方法在地热勘探中应用的探讨

张永光

（广东省地质勘查局水文工程地质一大队　广东湛江　524033）

摘　要：地下热(泉)水是一种可开发利用的自然之源。低温地下热水可以用来洗浴和疗养，水中含有多种有益于人体健康的微量元素，泡温泉浴会使人体神经兴奋降低，皮肤的血管扩张，加快血液循环，增大心脏每博排出量，使脉搏变慢，血压下降，呼吸舒畅，肢体关节轻松。据了解，常泡温泉浴对神经过于兴奋、动脉硬化、高血压、脑溢血及半身不遂、骨关节僵硬，神经麻痹等症有治疗作用，特别对皮肤病疗效较为显著。温度高至100℃以上且有较大水量的热泉可用作发电或其他工业用途，可见开发利用地下热矿水的社会及经济效益十分明显。阳江市新洲地热之源，泉眼最高温度达97℃，是华南沿海天然出露温度较高的温泉之一。为初步查明地下热水的运移条件、基岩地质界线、断层的位置和产状，圈定地热田的分布范围，为开发利用地下热水提供依据。而开展物探工作，由于该区的地质条件复杂。表层的淤泥、粘土长期受咸热泉水渗透的影响，电阻率较小，以浅部屏蔽体形式影响勘探深度及曲线形态，给视电阻率法的解释推断造成困难，需结合其他方法解释推断，从而决定采用物探综合手段进行勘探，结合其它方法的长处，进行互补综合解释推断，才可以提供较为准确的依据，同时为别的地方开展物探综合方法积累经验，也为在同类地质条件下单独使用该方法寻找隐伏地下热水奠定实例基础。

关键词：物探综合方法　地热勘探　异常　地质效果

1 地质概况

地热田位于新洲花岗岩体与北面寒武系接触带的南侧。热田两侧为剥蚀低山丘陵，中部为山丘间洼地，内有一小溪由东向西南流过，宽1.5~2米，水深1~1.5米，随季节变化。泉群总流量为12.8升/秒。寒武系八村群下亚群为变质砂页岩，云母片岩及条带状混合岩；第四系冲洪积层由粘土、淤泥、泥炭土、亚砂土、细砂、砂砾石等组成，燕山二期花岗岩主要由黑云母花岗岩、二长花岗岩、闪长岩、似斑状花岗岩组成。

本区在地史上经历了多期次构造运动，断裂、裂隙发育。热田北西部有阳江--从化深大断裂呈北东向展布，北部有开平环形断裂，东部有镇海湾断裂呈北北西向展布。从航片分析认为，还有北西西向、东西向、北北东向北东东向断裂。热田内构造有北东、北西、近东西和南北向四组，而以近东西向较发育。

2 地热田物理特征及物探方法选择

2.1 地球物理特征

2.1.1 岩石（层）及水的电性特征

从岩石、水的电性参数测定结果表1看到，花岗岩破碎带的电阻率平均为25Ω·M，变化范围2.2~59Ω·M，湿咸的淤泥、粘土的电阻率为

1.82~5.8Ω·M，热矿水电阻率为0.88~1.64Ω·M，冷水电阻率为60~160Ω·M,均比度质岩、完整的花岗岩及上覆干的黄色亚粘土要小2~3个数量级。变质岩、完整的花岗岩及上覆干的黄色亚粘土的电阻率没有明显的变化,均在102~104Ω·M之间,为视电阻率法提供了前提。另外，高温高矿化度的热水向上运移时，由于动电、热电及离子扩散等电化学效应，产生自然电场，为自然电场法提供了前提。

2.1.2 岩石（层）的磁性特征岩石标本磁性参数如表2。由表2可以看出：

①测区岩石均为弱磁性或无磁性；

②热泉出露沿线北侧的花岗岩磁性远大于其他位置的

表1　岩石、水的电性参数测定结果计表

岩石名称	电阻率(ΩM)	位置	岩石名称	电阻率(ΩM)	位置	位置	电阻率(ΩM)	备注
变质砂页岩	3457	48线与公路交叉北点	构造角砾岩	23609	猪笼岭	横岗仔村井水	68.25	水温22°C
变质砂岩	5573	测量桩4号点山头	糜棱岩	30897	ZK4位于94°约200米小山头	横岗仔村井水（质检）	35.1	水温25°C
变质砂岩	21375	测量1号桩山头	半风化花岗岩	17.4	46线200号点露头	ZK1热水	1.81	水温66~70°C
构造变质岩	1794	水文48桩南10米	微风化花岗岩	36.4	46线200号点露头	ZK2热水	1.41 1.53	水温59°C 水温56°C 水温53°C
糜棱岩	499	公路边泉露头	微风化花岗岩	551.5	工作区西采石场	ZK3热水	0.88	水温（76~82°C）
糜棱岩	1455	公路边泉露头	微风化花岗岩	401.5	工作区西采石场	上游小溪水	4.88	水温16°C
角砾岩	2661	62线200号点露头	沼泽黑淤泥（湿润）	2.07	203/49线处	下游小溪水	1.36	水温50.5°C
糜棱岩	1698	公路小桥北边30米	沼泽黑淤泥（饱水）	1.82	203/49线处	公路边泉水	171.3	常温水
糜棱岩	861.3	公路小桥北边30米	花岗岩风化产物	2402	192/49线处	98号泉水	86	水温20°C 水温85°C

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2　岩石标本磁性参数成果表

岩石名称		总块数	无磁块数	含磁块数	K×10⁻⁶C·G·S·M		Jr×10⁻⁶C·G·S·M		备注
					平均值	变化范围	平均值	变化范围	
黑云母花岗岩	孔中	190	151	39	217	36~3100	24	5~400	
	地表	34	0	34	1869	114~5177	162	19~430	168/1、208/55、208/56
蚀变黑云母花岗岩		11	10	1		175		20.6	
压碎花岗岩		8	8						
片麻状斜长花岗岩		7	1	6	492	78~1280	35	10~59	
斜长花岗岩		4	4						
中基性岩脉		13	12	1		323		23	
蚀变糜棱岩		12	12						
二长岩		19	18	1		700			
砂岩		8	8						

花岗岩或其他岩石的磁性；

③花岗岩包括地表和孔内，磁性变化范围较大。

2.1.3 岩石（层）的放射性特征

地热能总是来源于地球深部，当深部放射性存在着浓度势差、压力势差以及地下热水的运移对流、上涌作用，通过花岗岩破碎带扩散到浅部地层及地表，形成放射性异常。

2.2 物探方法选择

根据电性、磁性、放射性特征及通过野外物探方法的试验成果，选择以复合联合剖面法、电测深法、自然电场法、磁法为主，甚低频（VLF）电磁法、放射性为辅的物探方法：

2.2.1 复合联合剖面法极距选择为 AO=OB=210 米，AO′=OB′=90 米,MN=点距=20 米，个别线加大极距为 AO=OB=520 米,MN=80 米,点距为 40 米,联剖主要用来寻找隐伏断裂破碎带的位置、产状，结合地质、钻探及其他物探资料来确定热矿水的分布和研究热矿水与地质构造的关系。

2.2.2 电测深选择为 100×100 米的基本网度，局部加密为 50×50 米，因为热矿水的视电阻率小，电位差必然小，为保证数据准确，用 MN:AB=1:3 的等比装置，最小 AB/2=1.5 米，最大 AB/2=500 米。电测深主要用来了解电性沿垂向的变化规律，从而解释推断新鲜基岩顶板埋深，分析储热层的埋深及厚度，结合其他资料研究地热田的热储空间形态。

2.2.3 自然电场，甚低频选择为 100×10 米的网度，甚低频规定倾角 D 北倾为，南倾为，滤波公式为 F=（η1+η2）-（η3+η4）。自然电场法，甚低频电磁法是用来配合视电阻率法确定热矿水的分布范围以及断裂破碎带的位置、产状，为分析研究浅层热储形态提供了视电阻率法无法提供的信息。

2.2.4 放射性选择为 200×10 米网度，放射性主要用来了解该方法在寻找隐伏储热断裂带的效果，为今后在同类地质条件下单独使用该方法奠定实例基础。

2.2.5 磁法选择为 100×20 米网度，目的是通过磁法侧量进行地质填图，配合其它物探资料确定含水断裂破碎带的位置。

3 物探异常分析及主要地质效果

3.1 各类异常分析

3.1.1 复合联合剖面

由曲线图可以看出，大小极距的联合剖面曲线形态一致，大极距的视电阻率略率高于小极距视电阻率，曲线分异性好，异常幅值 η=38~78%，低阻异常带宽大而明显，其宽度 300~540 米。从各剖面看，大极距普遍向南偏移，说明热储总体南倾斜。本区联合剖面做电极距选用 AO=OB=90 米和 210 米两组，个别选用 AO=OB=520 米较大供电极距。总之，联合剖面异常从总体特征上反映了浅层热储的基本形态。

3.1.2 电测深

电测深曲线类型比较复杂，主要有 HKH、QHA、KHAA、AAKH 等。在低阻带内，当 AB/2 从 1.5 米

开始增大，电测深 ρ_s 曲线很快就大于 45°角上升，这是由于热矿水出露于地表，其视电阻率（2~10Ω·M）很低，从而使 $\mu 2=\rho_2 / \rho_1$ 大于 100，曲线便产生了畸变，而不是完整基岩的反映，当 AB/2 继续增大往下遇到破碎段，曲线以降低斜率的形式呈现出来。

对畸变的电测深曲线，使用量板作定量解释是无能为力的。应通过孔旁测深来选取电性介面校正系数 K，利用曲线拐点交会点或曲线转折点的 AB/2 乘以 K 来确定介面深度，该区 K=0.7~1 高阻层前 K=0.9~1，高阻层后 K=0.7~0.8。曲线的“H”段一般认为是裂隙破碎段引起的。

从 ρsmin、AB/2=65 米，AB/2=220 米和 AB/2=500 米的 ρS 等值线平面图可以看出，ρ_s 等值线围绕热中心形成低阻封闭圈，越靠近热田中心，电阻率越低，说明热矿化水能影响电阻率的变化。随着 AB/2 的增大，低阻封闭圈的 ρ_s 值随之增大，这反应了花岗岩体由上往下从风化、半风化、破碎到逐渐趋向完整，热水扩散范围逐渐变窄的特点，AB/2 不同其低阻封闭圈形态也随之不同则说明花岗岩破碎段的存在及埋深不同，从而反映了浅层热储的空间形态。

3.1.3 甚低频（VLF）

甚低频椭圆极化倾角 D 是一个稳定而灵敏的参数，利用 D 确定浅部断裂破碎位带位置是比较理想的。该勘探区 18 条断裂带是以 VLF 异常为主要依据，结合其它物探资料

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

而推断的。从D曲线可以看出，其拐点大多不在零值线上，这说明背景值存在干扰以及相邻破碎带异常迭加的结果。经D曲线的数值滤波和零值线移动等处理后，便可去掉背景值，确定破碎带的顶部中心位置，估算顶板埋深及其倾向。本区D曲线经上述方法处理后，交点两边正负极值基本相等，部份相差1~3度，说明异体趋于直立，推断在75~90度之间。用h=△X/2估算，破碎带项埋深为6~43米，与电测测解释结果较为吻合。

3.1.4 自然电场

由于地下热水的存在，其动电、热电和离子扩散等电化学作用而产生自然电场，与构造碎带及地下热流体运动方向关系密切。此外，潜水受重力作用形成山地过滤电场，本区最大高差20米左右，可以产生2~20毫伏的山地电场，故不可忽略。测区内观测到20~50毫伏的正异常，异常平缓，较对称，宽度100～320米，走向东西--北北西，与联合剖面低阻异常带较为吻合。从自然电场平面等值线图看，在考虑了山地电场的存在后，测区西部电位还是比东部低，直至出现较大负电位，这与地下热水运移方向有关，认为地下热水主要从西部补给并由西向东运移。

3.1.5 放射性γ和∝径迹密度异常

放射性γ和∝径迹密度异常的形态和位置基本一致，说明放射性异常是存在的。热田内γ异常极大值6000γ脉冲，极小值850γ脉冲、异常幅值η=40~133%。深部放射性物质迁移到地表，有的被富集起来呈现出高值异常，有的被地表水活动带走而形成中值异常，即在低值区内的相对高值异常。ZK3、ZK5位于放射性异常带状封闭内，均揭露到明显的断裂带，涌水量也大。总之，在一定地质条件下，地面放射性异常与地质构造有着密切的关系。

3.1.6 磁异常

从岩石磁参数测定结果知道，热田内岩石具弱磁性或无磁性。热田南部大片范围内，为极大值小于50γ的微弱正负交替异常区，北边为小于75γ不连续的负异常区，中部300~400米范围内为连续的正异常，近东西向贯穿全区，强度为20~100γ，最大478γ，为主要异常区。正异常轴部稍偏南的位置与电法、放射性异常对应。根据磁异常形态、位置和含磁性岩石分布情况，认为该区磁异常是由于地下热水，将深部岩石中磁性矿物运移并富集于构造断裂带上部而引起，并迭加了接触带及构造有关的片麻状斜长花岗岩的异常。由于磁性体不是单一的，因而各线上异常轴部位置出现双峰或一平台。南边峰主要与构造有关，北边峰主要与接触带有关。

3.2 主要地质效果

ZK1孔（49线197号点），孔深350.86米。

该孔主要是根据联合剖面异常而布置的，位于大极距（AO=210米）低阻正交点处。电测深曲线为KHAK型，尾部" K" 为假型曲线。AB/2=25~100米，为38O角上升，AB/2=100~150米段为63O角上升，AB/2=150米后曲线斜率下降，转为50O角上升曲线，推断19~90米、120~300米为破碎含水段，结果34.08~42.04米、70.55~86.16米岩心节理裂隙发育，260.00~300.00米岩心局部破碎，其余岩心比较致密。静止水位高出地表8.72米，自流量1.1升/秒，涌水量357立方米/日（降深49.35米），井口温度94℃。

该孔没有揭露到主要构造带，原推断的断层倾角较缓，但实际倾角较陡。当时估计倾角是根据联合剖面大小极距的正交点位移来推断的。热田内地质构造复杂，存在着多期，多组构造裂隙网络。对于供电极距及点距较大的联合剖面法而言，对相邻破碎带的分辨能力很差，其异常只能是低阻带的综合反应，而很难确定含热水破碎带的具体位置。加上存在表层电阻率不均匀和地形等影响因素，也会使大小极距的交点产生位移。结果，ZK1位置只靠近F5的北缘，虽然没能命中主构造带，水量也较小，但除浅部裂隙较发育外在260~300米一段，岩心局部破碎，取心率低，出现两个零回次，自流量也有所增加。

在第一个孔的基础上对物探资料重新进行解释和推断，ZK3、ZK5的物探推断与验证结果基本吻合，现分述如下：

ZK3孔（49线202号点），孔深309.31米。

该孔位于北东向组F9、F10与近东西向F6断裂带交汇部位，是联合剖面低阻异常带中部，VLF异常轴部，放射性低值区中相对高异常。电测深曲线属AAKH型，推断H段70~209米为含水破碎段。钻探结果：82.30~83.20米、119.30~121.5米，开启型裂隙发育。45.24~47.96米为蚀变中基性岩脉。80~160米岩心破碎，热液蚀变明显，自流量变化也最大：由4升/秒增大到22升/秒。静止水位高出地表12.50米，涌水量2444立方米/日（降深20.75米），井口温度101℃。终孔后西片自然出露温泉几乎全部干枯，只有在东向ZK5附近21号泉仍有自流。

ZK5孔（55线200号点），孔深299.82米。

位于联合剖面低阻异常中部，放射性高值封闭圈内，即北东向断裂F20与近东西向断裂F4的交汇点偏西约30米处。电测深曲线属KHKHA型，推断52~220米为主要含水破碎段。钻探结果：1.40~26.64米、68.90~90.40米、149.21~203.41米、250.73~276.59米岩心破碎，裂隙发育，热液蚀变明显，203.41~238.85米为蚀变中基性岩脉，中间207.20~209.75米为断层砾岩。终孔静止水位高出地表0.85米，自流量3.2升/秒，涌水量1389立方米/日（降深17.14米），井口温度86℃。

经物探异常与水文地质资料的综合研究，推断了热田内寒武系和花岗岩体的接触边界、断裂破碎带、浅层热储形态和规模，热田内主要的两组构造，近东西向一组为主要储热构造，北东向一组为主要控热构造。处在两组构造交会部位的钻孔，可期望得到涌水量较大的高温热水。基岩顶板埋深一般为20~30米，较浅的0.9~10米，较深的40~80米。热泉是在盖层较薄（小于10米）部位出露。浅层热储形态为一椭球体，长轴900米，短轴300~500米，体积为139015475立方米。日开采量可达5000立方米。

在地热物探中，使用多种方法配合，能根据各种方法的有效性，取长补短，相互印证，利用多种地质信息，提高研究程度，得到较好的地质效果。

参考文献：

[1] 广东省阳江市新洲地热田物探工作成果报告 1984年7月

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net