

成果与方法

综合物探方法在地热勘查中的应用

汤振清, 孙文洁, 强孟东

(山东省煤田地质局第三勘探队, 山东 泰安 271000)

摘要:物探方法在金属、石油、煤炭等地质勘探中应用广泛,并占有十分重要的位置,但在地热勘探方面应用的较少,主要表现为采用的方法少和新技术应用的少。该文试图通过较系统的电、磁、重力、遥感、测井、地震等物探方法在地热资源勘查方面的应用及实例探讨,以期引起有关部门对地热物探工作的重视,使物探手段更好地为地热资源开发利用服务。

关键词:地热;物探;勘探方法;综合应用

中图分类号: P622⁺2; P314.3 **文献标识码:** A

在地热资源勘查中,物探工作是其重要组成部分。地热资源勘查应视情况采用综合物探方法进行,以避免采用单一方法在深度、广度、精度方面的影响。因为单一物探方法有时具有多解性,如高温热水和蚀变矿物都能引起低阻,高温热流体视电阻率低,但视电阻率低的地方不一定都有高温热流体等;而通过综合物探可获得地质构造条件、热储赋存范围、地下水补给关系及空间位置等资料。为了更好地查明地热田的地质条件、热储特征、地热资源量,评价开采技术经济条件,在地热资源勘查中对综合物探工作应给予足够的重视。

1 物探方法分类简介

目前,地球物理勘探方法很多,根据工作空间的不同,可分为地面物探、航空物探、钻井物探及测井等。

测井是应用地球物理方法来研究钻孔地质剖面,解决地下地质技术问题的一门技术,包括视电阻率、侧向、自然电位、自然伽玛、密度、声波、中子、产状、井径、井斜、井温、水文流量、核磁共振、微测井、伽玛能谱、压力、感应、成像测井等几十种方法。

地震是以研究地震波在地壳内的传播规律,达到查明地下地质构造和寻找有用矿藏的勘探方法。近年来,地震技术发展很快,有反射波法、透射波法、

折射波法地震,有二维、三维地震,有高分辨率、微地震,有浅层、深部地震等,处理方法较多,不但精度高、速度快,而且处理手段灵活多样。

电法是以研究地下各种岩层电性的差异为依据,寻找和勘探矿藏、探测地下水、解释地质构造等,有电测深法、自然电场法、充电法、电测剖面法、瞬变电磁法、电偶源频率测深法、电磁测深法(频率、大地)、感应法及高密度电法等。

重力和磁法除传统方法外,还有高分辨率、高精度重力和磁法物探方法。重力资料多用于区域构造单元的划分、断裂构造空间展布的确定及盆地基底起伏及其性质的研究工作。利用磁法可探测矿藏,确定隐伏岩浆岩体的分布、厚度及与断裂带的关系,确定水热蚀变带位置。

遥感可得到卫星图像或航空图像,通过对不同种类、不同比例尺、不同时相的航空航天遥感图像(如 MSS 卫片、TM 卫片、SPOT 卫片、侧视雷达片、国土卫星彩红外片、航空像片等)进行地质解译,判断地貌、地层、地质构造,寻找矿藏和探索水文地质条件,还可判断地面泉点、泉群和地热溢出带。

各种物探方法从空中、地面、地下不同角度组成了立体阵容,这种特殊的组合方式决定了物探方法必须要综合考虑、分析和研究解释。

收稿日期:2006-07-31;修订日期:2007-06-04;编辑:孟舞平

作者简介:汤振清(1962-),男,山东嘉祥人,研究员,主要从事煤田地质勘查及研究工作。

2 地热物探评价方法的应用

地热勘探中,几乎所有的物探方法都可以考虑部署的(表 1)。但是,不同的地热田,由于地质条件、热储结构、成因类型、地热液体的化学成分等不同,其物探异常的客观反映也必然有所差异,对物探方法的选择和异常现象的解释也有所不同,不能照搬某一种模式,而应根据实际情况,合理地选择适合勘探区的物探方法组合系列,才能使所获成果达到预期的目的。并且在新的地热田勘查中,综合物探工作应优先开展。下面从几个方面探讨一些物探方法的应用。

表 1 地热物探综合评价手段

项目	方 法		
	主要	次要	配合
地层划分	测井曲线	地震	电法
区域构造	遥感、地震、重磁	电法	
褶曲	地震	重力、电法	测井、航测遥感
岩性	测井曲线	地震	电法
断层	地震、电法	测井、航测遥感	重力
含水层	测井曲线、电法	地震	
温泉	航测遥感	测温	
地形地貌	航测遥感		
地层温度	测井测温	水温观测地温梯度	测井测温
密度	测井曲线	地震	
孔隙度	测井曲线	地震	
含水层对比	测井曲线	地震、电法	
地层对比	测井曲线	地震	电法
水热蚀变带	磁法、航测遥感	地震	测井、电法
产状	地震、产状测井	电法、航测遥感	重力、磁法
岩浆岩	测井、磁法、重力	地震	
水量、流向	水文测井	电法	
流量、水位、补给	测井	电法	航测遥感

2.1 地表

地表和近地表温度测量可直接反映地温场变化,对于热异常区内标绘出对流传热带极为有效,特别还能够圈定出断裂带,有助于确定开采孔位置。在地形比较平坦,其他方面较一致时,采用地表 1m 深温度测量就比较有效。热异常值、等值线反映也较清楚,一般呈带状及片状分布。

热红外波段(TM₆波段)遥感资料反映的是与地表温度高低相对应的强度不等的热红外辐射,通过 TM₆所接收到的地面各处热辐射大小可以求出地表温度的高低及分布。如通过对 TM₆进行一系列处理后,在泰安市东南部和东部的覆盖区内发现了 3 处环型构造,即山口-丘家店环型构造,显冷异常;岱道庵-凤台环型构造及桥沟西羊娄环型构造,显暖异常,地温梯度 3~12 /100m,已有热水井证实。

2.2 浅层孔隙型热储

浅层孔隙型热储与低阻异常关系密切,如羊八井和朗久热田是以孔隙型热储为主的层状热储,地热流体的电阻率均较低,一般在 3 m 左右,含热水砂砾也仅在 10~20 m 之间^[1]。而地表冷水的电阻率则高于地热流体几十倍。其余岩石电阻率均比地热流体高出几十甚至数百倍。但并不是所有的低电阻一定代表地热区,如巨野地区 Q+N 地下水矿化度高,此时的低电阻异常就不是地热层。因此,实际工作中还需要通过其他物探手段加以区别。

浅层孔隙型热储与下部地层有关,并且受连通性和补给关系影响。当深部热水向上补给时,温度升高,当浅部冷水向下补给时,温度降低。如梁宝寺地区新生界(Q+N)地层水向下补给,在长期低温下降水流作用下,能形成一定范围的低温、低梯度负异常。

2.3 基岩裂隙型热储

基岩裂隙型热储情况较为复杂,深部裂隙型热储可通过研究断裂构造达到寻找基岩裂隙型热储的目的。而许多浅部地热田也与断裂构造有关,因热水只有沿断裂带上升才能在浅部形成热田。利用物探方法不仅能够分析构造,而且能够探测水及其温度、地层渗透率、水的补给关系等。

发育在脆性岩石中的张性破碎带,具有良好的导水能力和贮水空间。但若是粘土矿物充填在破碎带中,降低了导水性能,则会起到阻水作用。例如,通过地震或电法找出了断裂张性破碎带,可用测井确定是否导水。如自然伽玛幅值高、中子含氢指数较小则破碎带中充填有粘土矿物,导水性能差;反之,导水性能好。

另外,还可以收集天然地震资料分析找出活动性断层,因为地震活动是保持地下水能在地层裂缝

中流动的重要原因。而且热水只能从深部沿断裂带上升才能在浅部形成热田,所以找到活动断裂就能确定热水的通道和热储位置。

2.4 岩性解释及含水层的确定

电法、地震可以进行岩性解释及地层划分,但精度较低,而测井方法由于测井参数多,并且通过钻孔地质资料标定,每个测井钻孔都能详细地划分岩性地质剖面 and 地层时代界面。同时电法、地震资料解释成果同测井成果相结合,可在剖面及平面上进行连续追踪。

许多测井参数对含水层物性响应良好,曲线特征明显,界面反映清楚。如自然伽玛曲线和自然电位曲线可以确定泥质含量,伽玛曲线确定岩石密度,中子孔隙度曲线确定地层孔隙度、含氢指数,超声成像确定裂隙、产状,流量测井确定地下水流量,流速、流向测井确定地下水流速流向。通过物探资料综合分析、沉积环境研究还可判断砂体延伸方向和水流方向。

2.5 岩浆岩

大部分热田区及其围岩的岩性比较复杂,各类岩石间磁性差异性较明显。其中,花岗岩等酸性岩浆岩类岩石的磁化强度较弱,而安山岩等火山岩类岩石磁化强度较大,沉积岩类岩石一般无磁性。一般热田区的磁异常比较弱。不同岩石间的密度差异也很明显,花岗岩等侵入岩类岩石密度较小。在热田区开展重力寻找岩浆岩也是有一定效果的。通过对测井资料的综合分析,可了解岩浆岩的赋存形态及侵入规律。目前,地震解释岩浆岩也取得了较好的效果,岩浆岩达到一定厚度后能够与其围岩区分。总之,各种方法紧密结合可较好地确定岩浆岩岩性、空间形态及分布变化规律。如巨野地区,根据物探、地质资料分析认为,岩浆经早期形成的区域性大断裂上升以岩床、岩脉的形式侵入到石炭二叠纪地层,使原沉积岩层的厚度、结构遭到破坏。现在该区钻孔测井温度已经达到 63,根据地温梯度推测深部温度更高。

2.6 孔隙度

根据测井读数和岩石孔隙流体性质之间的关系,可以计算岩石孔隙度。并且通过测井计算的泥质含量校正,可将视孔隙度转化为有效(含水)孔隙度。计算孔隙度的参数较多,如声速、密度、中子、微

电阻率等,还可利用两种或两种以上参数交会图计算孔隙度,如密度-中子交会图、声速-中子交会图等。

地震也可分析孔隙度。地震波的传播速度受孔隙度的影响,当孔隙中含有水时速度增加,含气时速度减小。利用地震波的折射可确定地下速度的分布情况,推测热储的大小和孔隙率。

2.7 构造

测井曲线可以确定钻孔所见构造,在平面上的构造变化及空间形态变化主要由地震、电法、重力等控制。测井产状图提供了岩层的倾向、倾角和所要研究井段地层的主要倾斜方向,据此进行地质解释可以判断出一个地区的构造形态。例如巨野地区西区钻孔的测井产状资料显示地层主要倾斜方向大致向 E,倾角大约 5°~12°;走向近 SN,经与物探、地质资料综合分析,该区为“呈走向大致 SN,向 E 倾的单斜构造”。

根据对重力异常等值线的局部密集、同向扭曲等特点可以推断基底断裂与热田隐伏构造。电测深可用以圈定热田范围,定性和定量解释热储的赋存部位、空间形态、基岩埋深和储热层厚度等,联合剖面可确定热田区隐伏断裂的位置与倾向。

根据测井产状资料分析,可判断向斜或背斜。如巨野勘探区位于西部的 117 号孔显示了该孔基岩地层大致 E 倾,且褶曲的轴向应为 SN 向,同一时代的地层应为西高东低。位于东部的 224 号孔方位频率图显示的情况与 117 号孔相反,但褶曲的轴向相同。这说明,两孔之间有一个向斜存在(已证实)。

2.8 地层对比及地层产状分析

地层层位的确定正确与否是计算热资源储量及其生产利用的关键之一,采用以地质、测井为主,配合地震、电法等手段对比分析,能够可靠地确定各地层的层位、平面变化规律及含水层宏观结构类型。目前,由于大多数地热钻孔较深,特别是超深地热井采样取芯困难,很少采取岩样,依靠岩屑录井判断地层,因此地层划分主要靠测井参数取得。

绘制地质构造图和进行储量计算,需要地层产状资料。地面只能观测到部分地层产状,地热田大部分在新地层覆盖区,钻孔取芯只能量取岩芯倾向,

李常典,地热基础讲座,1992年。

倾向靠推断确定,而产状测井不仅提供了钻孔的系统顶角、方位角和岩层的倾角、倾向资料,地震、电法将根据确定的等高线及地层变化趋势推断地层产状。因此,测井、地面物探有机的结合能够描绘整个地热田的产状变化。

2.9 温度、水位、水量

直接反映深部地温场状况的方法是钻孔测温,一般随深度增加温度升高,遇含水层时则出现异常。通过测温资料可以分别算出浅部、深部及平均地温梯度,确定地温异常区和储热导热层、隔热层。根据地温梯度和特定深度温度等值线图,可以推测更大深度的地层温度。钻井参数仪的系列参数也可应用于这方面的研究。

自然电位测井曲线对渗透性地层具有明显反映,运用这一特点可划分渗透与非渗透性地层,同时反映地层水矿化度的变化情况。流量测井可在一个钻孔中揭露多个含水层,测定各含水层的分层流量、水位、厚度等。

3 结论

物探具有简单、快速、参数多、反映地质信息量大的优点,是客观存在的地球物理性质的综合反映。在圈定各种类型热储范围、探索热储的赋存规律及研究热水活动的关系等方面,积累了许多经验,并在已开发的热田中取得了显著的地质效果。但是,物探资料存在多解性,因此,要根据不同地热田的实际情况,合理地使用物探方法,结合地质等其他资料,综合分析研究。同时,也应认识到地热资源开发的高投入性、高风险性,重视前期的物探勘查工作,以减少投资风险提高综合效益。

参考文献:

- [1] 任湘,唐宁华,刘时彬.关于羊八井地热田深部热储的剖析
[A].任湘.中国西藏高温地热开发利用国际研讨会论文集
[C].北京:地质出版社,37-44.

Application of Comprehensive Geophysical Exploration Method in Geothermal Exploration

TANG Zhen - qing, SUN Wen - jie, QIANG Meng - dong

(No. 3 Exploration Brigade of Shandong Geological Coal Field Bureau, Shandong Tai'an 271000, China)

Abstract: Geophysical exploration methods have been widely used in geological exploration, such as metal, petroleum and coal, but it is rarely used in geothermal exploration, which can be understood from the few kinds of methods and little application of the new technology. In this paper, application of geophysical exploration methods, such as electricity, magnetism, gravitation, remote sensing, well - logging, earthquake and examples are discussed systematically. Thus, attached departments can pay more attention to geothermal and geophysical exploration, and geophysical methods can serve for geothermal resource exploration well.

Key words: Geothermal; geophysical exploration; exploration method; comprehensive application

青州市地质公园被正式认定为省级地质公园

日前,青州市地质公园建设顺利通过省专家团评审论证,该公园被正式认定为省级地质公园。专家组经考察后认为,青州市地质公园自然风光优美、地质地貌景观遗迹、动植物资源丰富,生态系统完整,特别是仰天山“天然森林公园”内,大量的地表岩溶形态与地下洞穴系统以及岩溶沉积堆积组成的岩溶建造,含信息量大,连续性好,组合性强,是重建古环境的重要物质基础,具有极高的科学价值,建设条件得天独厚。

青州西南部山区岩溶地质地貌景观遗迹丰富,其规模之大、种类之全、数量之多,在华北地区首屈一指,既有重要价值的岩溶地质地貌景观、北方地区极具代表性的岩溶洞穴遗迹,又有典型的地质剖面 and 构造形迹、古生物化石,还有地质灾害遗迹、水体景观遗迹等,都具有较高的研究价值,堪称是一部岩溶地质地貌学的鲜活教材。目前,青州市申报国家级地质工作也已正式启动,同山东省地质环境总站签定了申报协议,并正式成立了工作小组,于 2007 年 6 月中旬进驻青州市开展野外调研工作。

(于波)