

doi: 10.11720/wtyht.2017.1.08

孙中任, 杨殿臣, 赵雪娟. 综合物探方法寻找深部地下水[J]. 物探与化探, 2017, 41(1): 52-57. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.1.08>

Sun Z R, Yang D C, Zhao X J. The application of integrated geophysical methods to the prospecting for deep geothermal resource[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(1): 52-57. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.1.08>

综合物探方法寻找深部地下水

孙中任¹, 杨殿臣², 赵雪娟¹

(1. 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110033; 2. 辽宁省水利水电勘测设计研究院, 辽宁 沈阳 110006)

摘要: 因为地热勘查目标体较深, 埋藏浅的也要近千米, 勘探难度大, 单一的物探勘查方法所得结果认识模糊, 很难获得好的效果。笔者设计一项地热勘查, 在辽宁省某地热带上, 投入了地面高精度磁测、CSAMT、TEM、使用 EH-4 做 MT($f_{\min}=0.1$ Hz)、使用 V8 做 MT 等多种勘查方法。多种方法的投入既提供了多参数多信息, 又相互验证了方法的有效性, 从而对最终结果的判识起到了至关重要的作用, 最终成功布井。说明了综合利用物探方法在勘探难度增大的工作中是解决问题的有效途径。

关键词: 深部地下水; 勘查方法; 综合物探; 地热

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2017)01-0052-06

0 前言

深部地下水勘查的一般目的是为开发地热, 这种地下水埋藏浅的也要近千米, 深的可能达三千米或更深。一般而言, 物探很难就地下水温做出有效的判断, 所以严格意义上说, 利用物探方法勘查地热还是一个深部地下水勘查的过程, 只是从地表地温、地质构造和埋藏深度可以推测出地下水是否属于地热(水)。笔者因地热勘查工作, 于同一工作区寻找深部地下水, 先后投入了地面高精度磁测(HM)、CSAMT、TEM、使用 EH-4 做 MT($f_{\min}=0.1$ Hz)、使用 V8 做 MT 等多种勘查方法。多种方法的投入既提供了多参数多信息, 又相互验证了方法的有效性, 从而对最终结果的判识起到了至关重要的作用。

1 工区地质情况及以往工作概况

工作区位于辽宁省桓仁县境内, 地理上属长白山脉东南延续, 位于 NW—SE 向山间谷地的哈达河一级阶地中, 属著名的丹东—岫岩—庄河—普兰店

地热带。区域大地构造位置处于华北地台北缘胶辽台隆之上。褶皱构造和断裂构造较发育, 新构造运动明显。在区域地层划分上属营口—丹东地层小区。地层出露较全, 由老至新见有太古界鞍山群, 古元古界辽河群, 中—新元古界青白口系、震旦系, 古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二迭系, 中生界侏罗系、白垩系及新生界第四系等。由于本工作区面积较小, 地表仅见第四系冲洪积砂砾石层和小岭组凝灰岩质角砾岩, 安山岩, 流纹岩, 流纹石英斑岩等, 以及大石桥组白云质大理岩。

工作区内侵入岩也比较发育。常见有太古宇混合岩及混合花岗岩、古元古代辉绿岩。同时断裂构造发育, 属晚侏罗世, 即燕山期产物, 其中 NW 向断裂为本区的主构造, 沿哈达河谷呈 NW290~310°方向展布, 规模大, 断距大。

1985 年, 在工作区曾开展过地面热红外普查, 普查结果显示地温受 NW 向断裂控制; 同时, 在热异常区布置了不同极距的联合剖面法勘探, 得到几个不同深度正交点, 说明地下深部存在构造破碎带的可能。由于受当时工作方法及工作量的限制, 未能提出进一步的工作建议。1999 年, 在该区又投入了

收稿日期: 2016-06-18; 修回日期: 2016-09-28

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“松辽外围南部盆地群油气基础地质调查”(12120110150074)

作者简介: 孙中任(1963-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 现主要从事地质勘查工作中物化遥的应用研究工作。Email: sunzhongren@cgs.cn

物探工作,含 10 条电阻率联合剖面、3 个电阻率测深点、4 条磁测剖面、48 个 α 卡测量物理点、335 个地表浅层温度测量物理点。同样,由于激电测深的深度不够,根据测深结果仅解释出第四系厚度为 5~10 m 左右,没有其他更有价值的成果;联合剖面法的解释结论为有 1 条 NW—SE 向断裂破碎带通过地热异常区,倾向 E;根据磁测成果确定了 NE 向大断裂及火山岩下变质岩系的界线; α 卡法的应用因

地表农田耕种效果不佳。根据上述勘探工作成果先后进行了布钻和掘进,均未取得理想效果。

工作区地表见有一自流地热水,据地表泉统计,一般流量大于 1.0 L/s,最大时可达 5.0 L/s。该地热水位于哈达河一级阶地,说明沿哈达河于地热水上涌存在更次一级构造带(图 1)。综合前人的资料,我们认为地热是客观存在的。

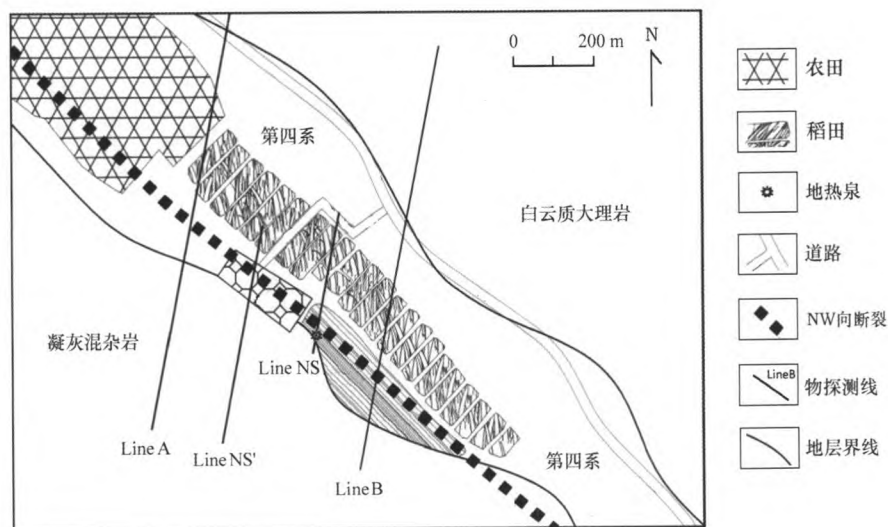


图 1 工作区地质与工作布置

另据水文地质资料^[1],工作区存在第四系松散堆积层孔隙水、碎屑岩类裂隙孔隙层间水、碳酸盐岩类裂隙溶洞水和基岩裂隙水 4 种储水类型。其中,第四系松散堆积层孔隙水埋深 1.5~4 m,含水层由冲积、冲洪积砂、砂砾石、亚砂土组成,含水层厚 2~4 m;碎屑岩类裂隙孔隙层间水的含水层由安山岩、火山碎屑岩、砂岩、砾岩、流纹岩等组成,为弱含水层;碳酸盐岩类裂隙溶洞水广泛分布于工作区的碳酸盐中,有岩裂隙水和溶洞水。由于含水层岩性及水通道等因素的差异,富水性有所不同,最高平均涌水量达 136.4 L/s,钻孔涌水量最大达 1767.9 t/d,少者为 121.39 t/d。基岩裂隙水大面积分布于本区流纹斑岩、混合岩、花岗岩中,富水极不均匀。

2 技术措施

因为地表有地热水,因此可认为是构造将地下水导到地面,寻找地下水首先要寻找构造——导热(热)构造。据地质条件分析,凝灰岩质角砾岩、凝灰质安山岩、流纹岩、流纹石英斑岩、白云质大理岩电阻率一般在 $800 \sim 1800 \Omega \cdot m$ ^[2-3],都是高阻岩性,利用电法区分这些岩性是困难的;而目标构造

破碎带探测深达 2 000 m,围岩电性差异本身又不大,使用单一方法应当存在很大的困难与风险^[4-7]。因此决定在工作区开展大比例尺、高密度、多类型的地面物探勘查,目的是探测深层断裂破碎带的空间展布规律,探测深部可能富水部位及高温水赋存情况,以指导进一步开展的地下热水钻探。

为此我们设计投入了可控源音频大地电磁测深(CSAMT)^[8-10]、大地电磁测深(MT)^[11]、瞬变电磁测深(TEM)^[12-13]、地面高精度高密度磁测(HM)等综合地球物理探查。

3 数据分析

下面通过其中 1 条测线的实例分析,来说明综合物探方法的相互认证、相互支持、相互补充。

LineB 剖面是本次工作的重点剖面(见图 1),原因有三:①该测线与地热水平面距离较近,以地热水为观察点所获得的信息在 LineB 剖面可信度较高;②地热水位于河谷偏 SW,其构造走向 NW280°,LineB 剖面为 NE100°方向,再考虑 NE 倾向,未来可能的施钻位置是在沟谷,便于设计验证孔;③相比其它剖面,LineB 剖面更便于物探施工,这包括工作后

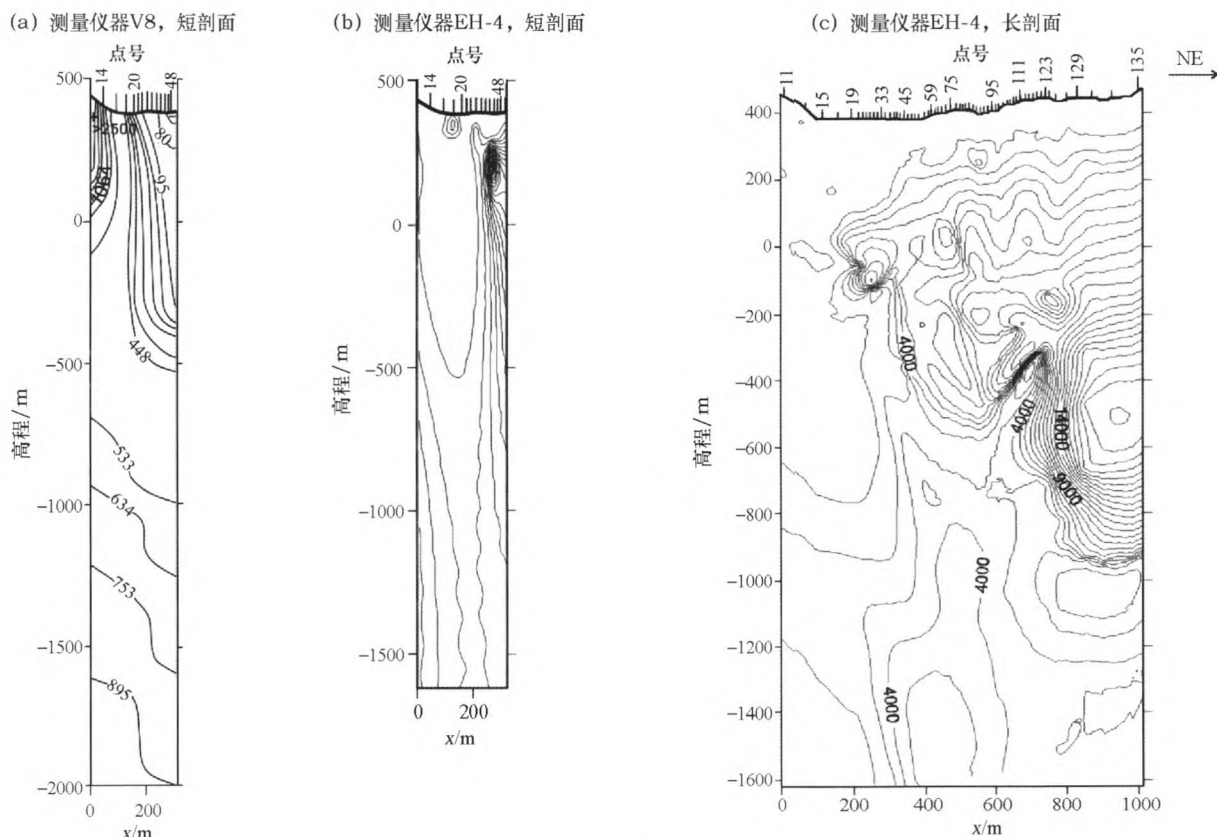


图3 3次MT测量反演电阻率断面(单位: $\Omega \cdot \text{m}$)

界,剖面的NE段是总体呈高阻反映。近地表的低阻层下是厚度约800~1200 m的高阻体,其NE端未封闭且有稳定的趋势,这与沉积变质的地质特征相吻合。该高阻体最大电阻率高于20 000 $\Omega \cdot \text{m}$,也与大理岩的地球物理性质相吻合。

巨厚的高阻体下,发育一条带状的低阻长条异常,该异常带SW端埋藏浅,NE端埋藏深,至剖面SW段与CSAMT的反“ $\cup$ ”形低阻带相交,总体成“C”状。这应是同一个低阻异常,只是因为发育在不同的地质背景中,阻值稍有差别。

这一长条低阻异常下伏地质体的电性是大致均匀的,在1000~4000 $\Omega \cdot \text{m}$,一般为2000~3000 $\Omega \cdot \text{m}$ 的中高阻异常。这个阻值低于上覆的高阻体,但又高于一般的低阻,推断可能是混杂岩,比如工作区已出露的斜长岩、角闪岩等,也有可能是破碎的大理岩。

43点以SW为整体低阻,阻值一般低于1000 $\Omega \cdot \text{m}$ 。该异常陡立,稍右倾,在1000 m与上面描述的长条低阻异常相遇以后,阻值有增高的趋势,甚至与剖面NE段下伏的中高阻异常连为一体。由于没有钻探资料,无法更合理地推断。结合NE段的推断意见,将SW段下伏的中高阻异常与NE段中高阻异常推断成一个下伏岩体可能更合理。

3.4 TEM 测量

TEM测量是LineB重新以整间隔距离布设,反演断面见图4。整个剖面15 m以上为近地表破碎、潮湿低阻层;20~350 m左右为高阻层,该高阻层左厚右薄呈楔型;自350 m向下则为低阻带,略右倾,左高右低,显示该低阻带核心偏出测量范围以外。这一点与MT-V8的测量结果极为相近。

CSAMT、MT测量的B16低阻特征在TEM剖面刻划得更详细,34点的TEM结果明显显示为高阻体,CSAMT、MT只是一个点的反映。这也说明因为MT与TEM测深的机理不同,在不同地电条件下所反映的细节也可能不同。在高阻体下面与MT一样,也是低阻带的显著特征,只是TEM异常SE倾向更加明显。也就是说,TEM比CSAMT、MT更细致地刻划了浅部的地电特征。

4 最后结果

图5是CSAMT的推断地质断面。整条剖面上100 m以浅的岩石有不同程度的破碎,而这种破碎与其下伏的岩性也有着不同程度的关系,灰岩的破碎程度比较低,而凝灰岩或混合杂岩的破碎程度就比较高。

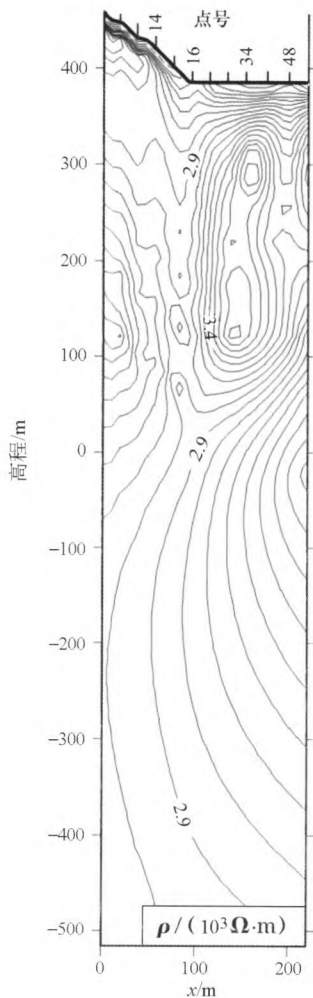


图 4 LineB 剖面 TEM 反演电阻率断面

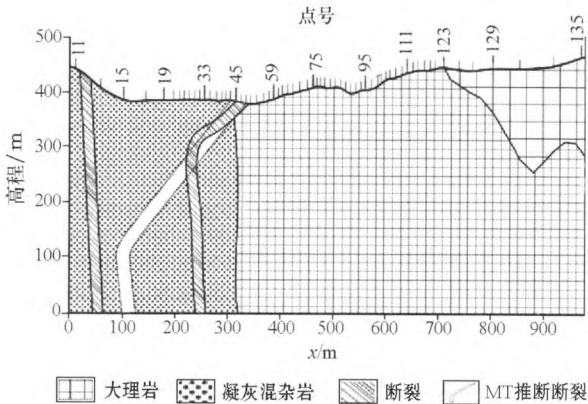


图 5 LineB 剖面 CSAMT 推断地质断面

利用 CSAMT 和 V8 数据资料,于剖面的 SW 段推断出了 2 条断裂。这两条断裂与 MT 测量结果似乎有冲突,但是宏观位置和形态没有冲突,我们认为这与 CSAMT 测量深度以及静态校正不够完全都有关系。由于几次 MT 测量的结果一致,并结合地质条件分析,更偏向 MT 所谓“2 条断裂实际上是 1 条断裂带反映”的结论。尽管也用 CSAMT 的数据资料做了推断解释断面,但也仅推出了以 43 点为界的

SW 段为凝灰混杂岩区和 NE 段的大理岩区的地质成果。之所以把 SW 段定为凝灰混杂岩区,是因为凝灰岩和其他杂岩在电性上很难区分。同时,就本工作区的地质特点而言,也是凝灰岩、安山岩、流纹岩、石英斑岩、角砾岩混杂;包括上面讨论过的剖面 1 000 m 以下下伏的斜长岩、角闪岩等,都很难区分。

前面在讨论电性特征时说过,CSAMT 和 MT 是相互认证、相互补充的关系,由此,有理由就 CSAMT 的浅部细节优势和 MT 勘探深度特点分别做出相应的地质解释。

根据 LineB 全剖面 MT 成果推断地质断面(图 6),推出了近地表的风化坡积层。所谓风化坡积层就是基岩风化层和坡积层未分。近地表 10 m 左右可能是坡积层,其下至 100 m 左右可能就是风化层。风化层就是表现在上部以岩石破碎、蚀变为主要特征。然后是 HM、CSAMT、MT、TEM 共同的探测结果:以 43 点为界,SW 段为凝灰混杂岩区,NE 段为大理岩区。

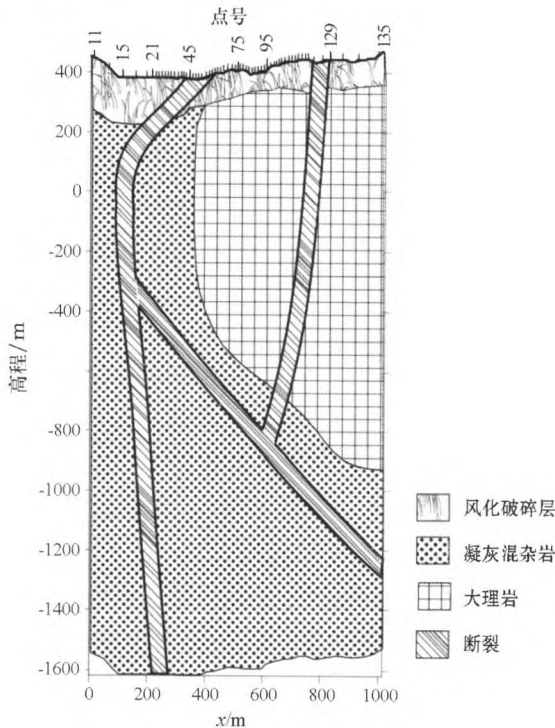


图 6 LineB 剖面 MT 推断地质断面

主体构造地下 800 m 处分为左右两部分,其右侧(NE)与剖面右侧(NE)山坡一陡立构造相连,呈现出复杂的构造体系,但是也指出了工作区地热的部分水源补给。我们认为该导热构造为“C”型:深部的地热源从打虎沟的山下约 3 000 m,沿 SW 方向斜上至 1 500 m 左右,近乎直立向上,到近地表 200 m 左右折向 NE,以 60°向上涌出地表。

基于上述工作成果,设计了第一个验证孔 22/

LineB。经钻探验证,该孔涌水量大于 100 t/h,地面孔口水喷高度达 2 m。

5 结论

通过此次工作,我们认识到综合利用物探方法是客观对待勘查工作的基本理念。没有万能的勘查技术手段去针对某种地质勘查工作,即便同一种勘查技术也可以使用不同的仪器从而扬长避短,做到知此知彼。尝试多种数据处理手段,甚而采用多人背靠背解释也不失为一种有效的解释途径。结合地质背景,甚至与地质人员共同研讨,借鉴其他专业资料开展综合地球物理勘查成果解释是十分必要的。

参考文献:

- [1] 张威,唐文,张卓.辽宁桓仁地质灾害形成条件及影响因素分析[J].科协论坛,2011(8):120-122.
- [2] 于振锋.海—塔盆地火山碎屑岩复杂岩性的岩石学机理及其测井响应[D].长春:吉林大学,2013.
- [3] 孙中任,赵东亮,刘殿魁,等.高密度电阻率法用于隐伏岩性界面勘查[C]//勘探地球物理 2005 学术交流会议论文集,2005:176-177.
- [4] 于敏清,李建才,刘永学.综合物探方法判定富水区的应用[J].林业科技情报,2001(1):64.
- [5] 武毅,刘国辉,潘和平,等.综合物探方法预测松散含水层涌水量技术研究[J].工程地球物理学报,2012,9(5):544-550.
- [6] 贾春生.综合物探方法在山丘区找寻地下水[J].水利天地,2002(11):38.
- [7] 李凤哲,朱庆俊,孙银行.西南岩溶山区物探找水效果[J].物探与化探,2013,37(4):591-595.
- [8] 张国鸿,李仁和,张良敏.可控源音频大地电磁法若干方法技术问题的探讨[J].安徽地质,2009,19(2):119-123.
- [9] 吴璐苹,石昆法,李荫槐,等.可控源音频大地电磁法在地下水勘查中的应用研究[J].地球物理学报,1996,39(5):712-716.
- [10] 高敬语,谭嘉言,朱占升,等.音频大地电磁法在地下水质评价中的应用[J].物探与化探,2013,37(5):895-898.
- [11] 杨剑,王永华,焦彦杰,等. EH-4 电磁系统在西南抗旱救灾找水中的应用[J].物探与化探,2011,35(6):754-757.
- [12] 郝治国,贾树林,文群林.综合物探方法在采空区及其富水性探测中的应用[J].物探与化探,2012,36(S1):102-106.
- [13] 郭建强,武毅.宁南干旱缺水地区地下水勘查物探新技术、新方法研究报告[D].地质矿产部工程地质方法研究所,1999.
- [14] 杨守渠,翟雷,铁健康.洛阳市龙门高温地热井的综合物探勘查[J].物探与化探,2012,36(4):562-566.
- [15] 吴有信.综合物探方法在煤矿采空区及其含水性勘察中的应用[J].工程勘察,2005(4):67-71.
- [16] 郭守望,李百祥,周小波,等.电法在甘子河断裂对流型地热资源勘查中的应用[J].物探与化探,2013,37(2):229-232.
- [17] 陈永,肖国庆.物探方法在寻找地下水方面的应用[J].黑龙江水利科技,2012,40(4):270-271.
- [18] 刘飞虎.综合物探方法在煤矿水文地质中的应用分析[J].煤矿现代化,2013(2):84-88.
- [19] 赵雪娟,孙中任.综合物探方法在锰矿勘查中的应用[J].地质与资源,2013(3):233-238.
- [20] 张涛,韩晔,马春燕,等.高密市南部贫水区地下水勘查探讨[J].山东国土资源,2010,26(4):6-8.
- [21] 田蒲源,朱庆俊.综合物探在花岗岩严重缺水地区地下水勘查中的应用[J].地下水,2012,34(3):125-127.

The application of integrated geophysical methods to the prospecting for deep geothermal resource

SUN Zhong-Ren¹, YANG Dian-Chen², ZHAO Xue-Juan¹

(1. Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang 110033, China; 2. Liaoning Institute of Water Conservancy and Hydropower Survey and Design, Shenyang 110006, China)

Abstract: Currently, increasing attention is paid to the green energy, and tourism has become a critical part of modern people's lives. In such a situation, geothermal exploration becomes more and more important in geophysical work because the targets of geothermal exploration are relatively deep, and their burial depths are about 1 km, or even up to 3 km or deeper. The single geophysical method is commonly employed and, as a result, the understanding of result is unclear, and the geological interpretation is not effective. In this study, the authors carried out a geothermal survey, in which the magnetic, CSAMT, TEM, MT/AMT (using EH-4 and V8 instruments) methods were employed. Multiple geophysical methods can supply multi-parameter information, and can cross-validate the effectiveness of each method. The successful selection of drilling targets demonstrated that the employment of integrated geophysical methods is an effective solution in challengeable exploration tasks.

Key words: deep groundwater; exploration method; integrated geophysical exploration; geotherm

(本文编辑:沈效群)