

综合电法在张北县玄武岩孔洞水勘查中的应用

罗旋,朱庆俊,于蕾,连晟,卢放

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,河北 保定 071000)

摘要:随着张北县坝上地区经济发展和人口增长,对地下水的的需求剧增,导致地下水位急剧下降,面临水资源匮乏的困境。查明张北县坝上地区的水文地质条件,弄清该地区地下水的赋存规律,是一个亟待解决的问题。利用CSAMT法和高密度电法查明了张北县西大淖村的地层结构,断层以及含水层的分布,精准确定了水文地质钻孔位置,出水量达130 m³/h,解决了当地水资源匮乏的问题。CSAMT法和高密度电法在勘查玄武岩孔洞水过程中取得了较好的应用效果,为进一步提高张北县的水资源利用率提供重要依据。

关键词:CSAMT法;高密度电法;玄武岩;孔洞水;应用效果

中图分类号: P631.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-4135(2020)03-0251-08

张北县是河北省坝上政治、经济、交通、文化、旅游综合发展中心之一。张北县城工农业及居民生活用水,村庄农户生活、农作物灌溉及畜牧养殖用水,均以开采地下水为主^[1]。张北县位于内蒙古高原南缘的坝上地区,年降水量300 mm左右,以内陆河水系为主,无境外水量补给,主要靠流域内有限的大气降水补给,水资源的形成途径十分单一,地表水资源紧缺。近年来,由于坝上地区大力发展农业,特别是以发展错季蔬菜为支柱产业的水浇地面积迅速扩大,导致地下水开采量逐年加大,地下水位连年下降,深层水的开采利用率也逐年提高。导致供水能力下降,亟待开辟新水源^[2-5]。

查明张北县及坝上地区的水文地质条件,研究玄武岩的形成机理和储水模式,是提高成井率的重要途径之一。在现有地质资料的基础上^[6-15],本文利用CSAMT法和高密度电法查明了张北县西大淖村的地层结构,断层及含水层的分布,并通过两种方法相互验证,确定了水文地质钻孔位置,出水量达130 m³/h,解决了当地水资源匮乏的问题,为进一步提高张北县玄武岩孔洞水资源的利用率提供重要依据,具有显著的社会意义。

1 工区水文地质特征

工作区大地构造单元位于华北地台北缘内蒙古

轴西部之张北台拱与沽源陷断束的分界线附近东南侧的红旗营子台穹内,地表覆盖强风化的第四系及火山玄武岩,下伏为新近系和白垩系泥岩^[6]。坝上地区从中新世早期开始,区内新构造活动剧烈,形成沿坝头近东西向与北东向的断裂。与此同时,有大量的岩浆沿断裂带喷发,形成中新世早期玄武岩被。每次喷发之末尾,均有暂时间歇,在顶层形成了大量的间歇期气孔,形成了独特的孔洞水水文地质结构^[7]。根据调查^[8-11],玄武岩的富水程度主要受构造裂隙的控制、气孔发育程度及风化程度控制。由于坝上玄武岩属多期喷发,气孔玄武岩和致密玄武岩相间分布,柱状节理不发育,在后期新构造运动作用下,形成的构造节理裂隙为地下水运动提供通道,孕育形成了早期脉状径流带,而在潜水面以下的玄武岩古风化面,在早期脉状径流带上,随着地下水不断潜蚀,形成潜蚀孔洞层,潜蚀孔洞层构成了晚期强径流带,既形成了富水地段。因此查明地质构造、地球物理结构成为找水打井的关键^[12-13]。

2 工区地球物理前提

为了解地层结构及地质构造,故依据探测目标体的埋深情况^[14],可考虑选择探测深度为500 m的可控源音频大地电磁法(CSAMT法)和探测深度为100 m的高密度电阻率法。

收稿日期:2020-07-15

资助项目:中国地质调查局项目“太行山北段综合地质调查(DD20190259)”

作者简介:罗旋(1991-),女,硕士,助理工程师,2017年毕业于中国地质大学(北京)地质工程专业,主要从事水文地质地球物理勘查技术研究, E-mail:14782427@qq.com。

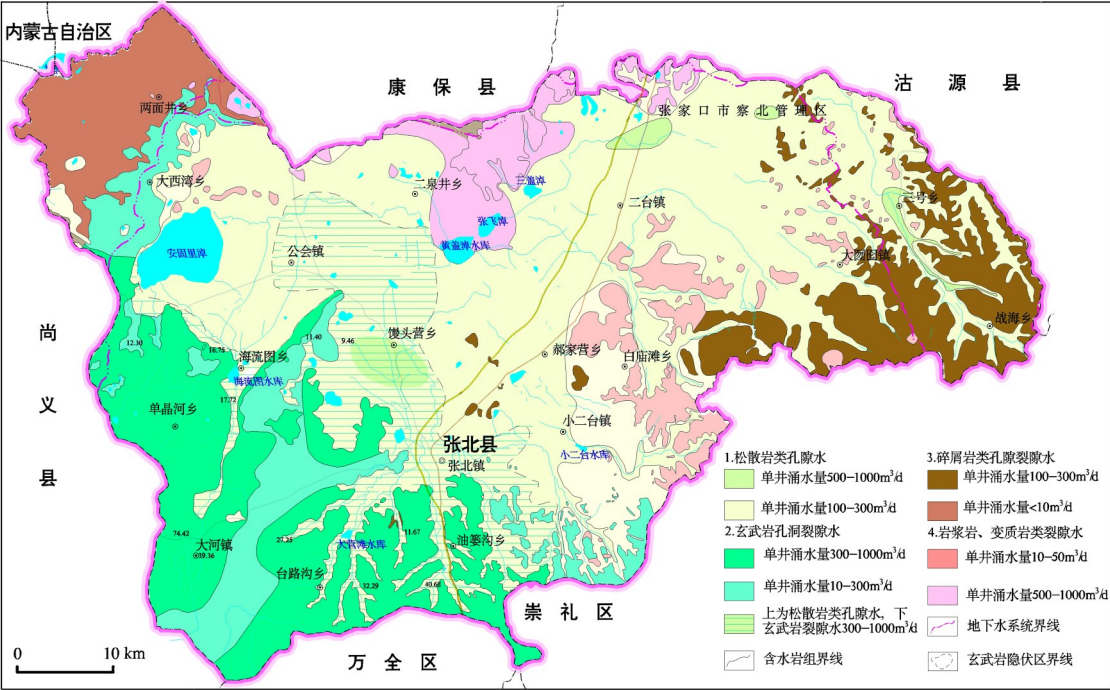


图1 张北县 1/25 万水文地质图
Fig.1 1/250 000 hydrogeological map of Zhangbei County

张北玄武岩水储分布区浅部通常存在厚约40~60 m泥岩,其电阻率小于10 Ω·m,仅当浅层泥岩厚度小于40 m时,高密度电阻率法适用。此时,电极距至少设定为10 m,采用温纳装置最为适宜^[17-20],施伦贝格或其它四极装置因测量电极电位差小于5 mv,测量数据难以保障信噪比,不再适用。

当浅部泥岩厚度大于60 m时,直流电阻率法难以穿透浅部低阻体而有效探测到深部目标,故不再适用。此时,可选用CSAMT法、TEM等方法。因CSAMT法视电阻率曲线极值点与地层结构特征具直接明了的对应关系,故将CSAMT法作为首选^[21-22]。

当浅部泥岩厚度介于是40~60 m之间时,视电磁干扰情况,可从上面三种方法中任选其一。如若在紧邻风电区开展工作,则只能选择高密度电阻率法;或选择风电非工作日,采用电磁法类方法开展工作。

3 工区技术方法

3.1 工区 CSAMT 法工作方法

CSAMT野外工作使用加拿大凤凰公司生产的V8多功能电法仪,测量方式采用赤道偶极装置进行CSAMT法的标量测量方式,供电电极距AB=1.6 km,收发距r=10~14 km,测量极距MN=15 m,测点距=15 m。供电电极A、B选用电导性良好的铜板,接收

电极M、N采用电化学性能稳定、极差变化小的不极化电极,并保证接收电极的接地电阻小于2 kΩ,以保证数据的采集质量。

资料处理的目的是压制CSAMT数据中的各种噪声的影响,或校正由地质噪声(静态位移、地形影响)以及非平面波引起的过渡区畸变等,从各种叠加场中分离、突出或增强地质目标体的场信息或趋势,有利于后续的解释^[23-24]。

对采集的数据进行处理时,首先通过数据编辑压制由仪器噪声、风噪声、天然电磁噪声和人文噪声引起的明显畸变。并利用阻抗相位资料进行识别,并依据地质构造和地形起伏情况,判断静态效应及其严重程度,并选取小波多尺度分析的方法^[25]对静态位移进行分析校正。其次,利用地形校正消除由地形起伏引起的卡尼亚电阻率曲线和阻抗相位的畸变。最后通过等效电阻率全频域视电阻率近场校正方法对过渡区数据进行校正,从而提取出过渡区数据中“隐藏”的有用频率测深信息,使其得到有效利用。

数据分别采用ZONGE公司提供的商业化二维圆滑模型反演软件(SCS2D)和加拿大凤凰公司提供的Bostick反演软件进行了反演处理和成图(图2,图3),最后根据反演电阻率断面并结合地质情况进行

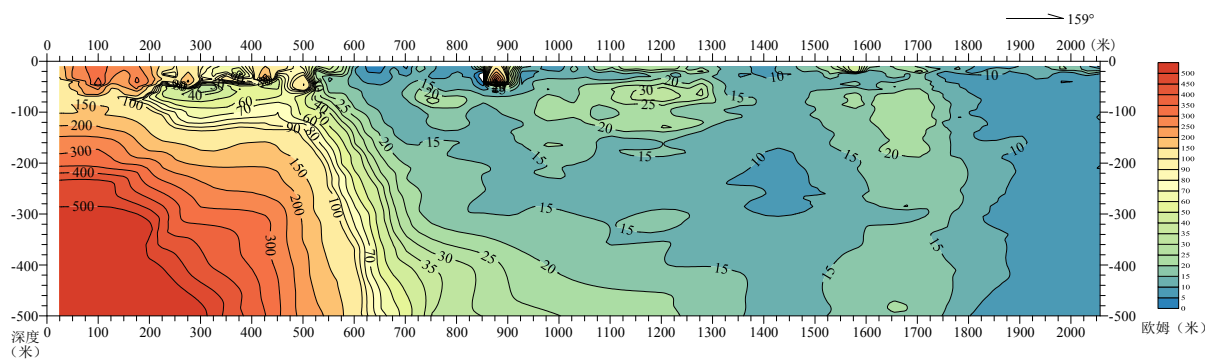


图2 CSAMT法Bostick反演电阻率-深度断面图
Fig.2 CSAMT Bostick inversion of resistivity depth section

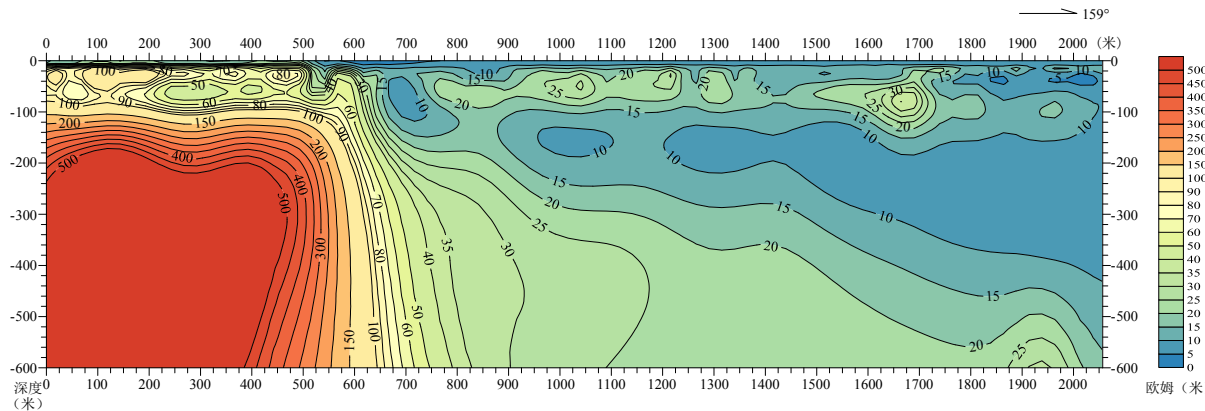


图3 CSAMT法二维圆滑模型反演电阻率-深度断面图
Fig.3 CSAMT 2-D smooth model inversion of resistivity depth section

地质解释。

3.2 工区高密度电阻率工作方法

高密度野外工作使用重庆奔腾仪器有限公司的WDJD-4多功能电法仪,该仪器性能稳定,灵敏度较高,对探测浅部地质体具有很好的分辨率和效果^[26-27]。本次两条高密度测线均采用温纳装置测量,电极距为10 m。布设测线时,保证每根电极插入地面20 cm以上。数据采集前,首先检查接地电阻,尽量保证每根电极的接地电阻在2 kΩ以下,对于接地电阻较高的电极,浇灌盐水以增加其导电性,确保数据质量的真实可靠。

资料处理首先采用WDAFC.exe将数据转换为RES2D.dat格式,再采用瑞典Res2dinv软件进行处理。数据处理流程分为预处理阶段与反演阶段。预处理阶段首先导入转换好格式的数据文件,在编辑模式下删除突跳点的数据。将突跳数据删除后,通过模型细化将单位电极间距的一半作为宽度的模型单元得到最优结果。二维反演选择阻尼最小二乘

法,初始阻尼系数设置为0.15,为稳定反演过程,阻尼系数增加因子设置为1.05,反RMS演过程采用线性搜索方式,迭代均方根误差相对变化率设置为5%,收敛误差设置为5%,迭代次数设置为5次。最终将输出的原始视电阻率断面和二维反演断面保存为.dat.*格式,使用surfer绘制电阻率等值线图,最后根据反演电阻率-深度断面并结合地质情况进行地质解释。

4 实例应用

西大淖村位于张北县馒头营乡,据张北县1/25万地质图说明书^①,西大淖村为第四系覆盖区,下伏地层结构不详。据现场地质调查,村东南浅部岩性为厚大于100 m的泥岩。村内供水井和民用灌溉井分布在村西北,井深约50~70 m,含水层岩性为玄武岩,而在村东,没有钻井成功先例。为确定适宜探采结合井位置,同时查清村西北部地区层结构,采用CSAMT法和高密度电阻率法开展工作(图4)。

考虑到工作区周围有风电干扰因素,首先选择

^①杨志宏,张北县1/25万地质图,河北省地质调查院,2004.



图4 西大淖村物探工作实际材料图

Fig.4 Actual material map of geophysical prospecting work in Xidanao

了CSAMT法沿近南北向布置了测线。图2和图3分别为使用Bostick反演得到的电阻率-深度断面图和使用二维圆滑模型反演得到的电阻率-深度断面图

CSAMT法电阻率-深度断面图,从图中可以看出,使用二维圆滑模型反演法得到的结果对断层的刻画更加清晰,故通过二维圆滑模型反演得到电阻率-深度断面图进行推断。据二维圆滑模型反演电阻率-深度断面图(图3)推断,在测线600~700 m位置存在NE走向控盆断裂,其走向北东东、近东西向。断裂以北,为玄武岩+花岗闪长岩的地层结构;以南盆地内沉积了巨厚的泥岩和泥砾岩,埋深十几米至八十几米的玄武岩为盆地内唯一含水层,玄武岩向南埋深有逐渐增大的趋势,且在南部尖灭。F1断层北侧从地表至埋深80 m左右的玄武岩为主要含水层(图5)。

为进一步验证CSAMT勘查结果,分别又布置了高密度I线与II线。高密度I线170 m处约与高密度II线200 m处相交,从高密度I线视电阻率断面(图6)和II线视电阻率断面(图7)可以看出,两条高密度测线电阻率值保持一致。距CSAMT测线以

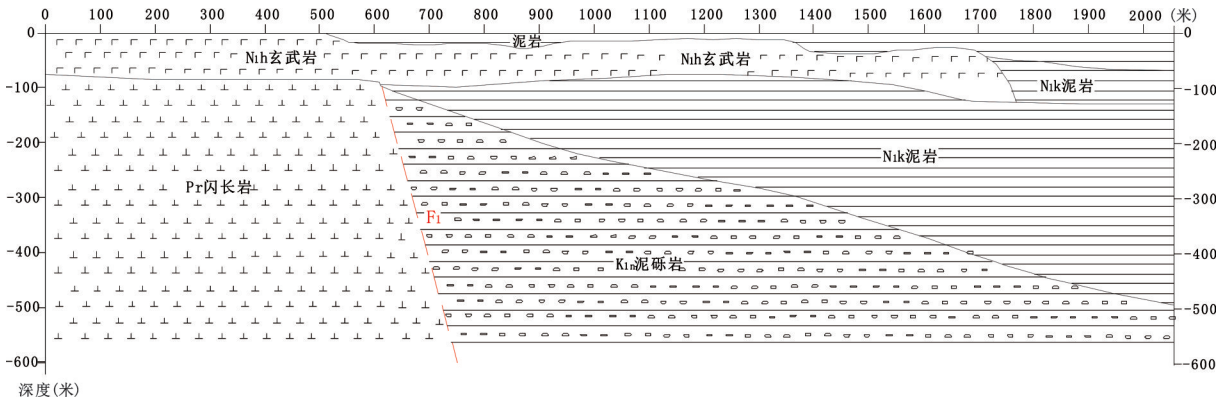


图5 CSAMT法推断地质断面图

Fig.5 Inferred geological section of CSAMT method

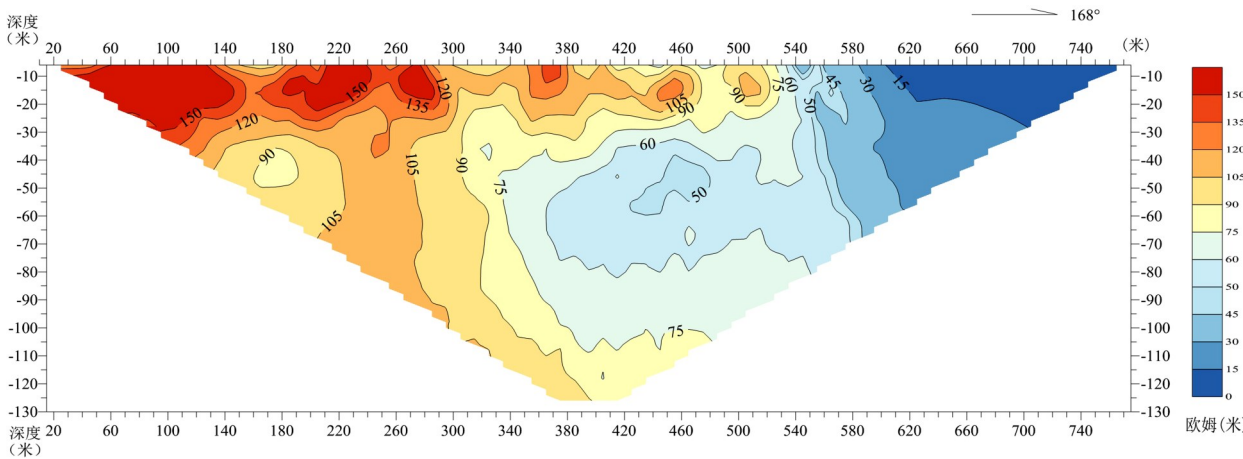


图6 高密度电阻率法I线视电阻率-深度断面图

Fig.6 Apparent resistivity depth section of high density resistivity method of line I

西平行布设高密度Ⅰ线,并垂直于CSAMT测线布设高密度Ⅱ线。由高密度Ⅰ线电阻率-深度断面图(图8)、推断地质断面(图9),其结果与CSAMT勘查结果

较好对应,F1断层以北为玄武岩+花岗闪长岩的地层结构,断层以南揭示泥岩^[28]。
在高密度电阻率法Ⅰ线与Ⅱ线(图10)范围内,

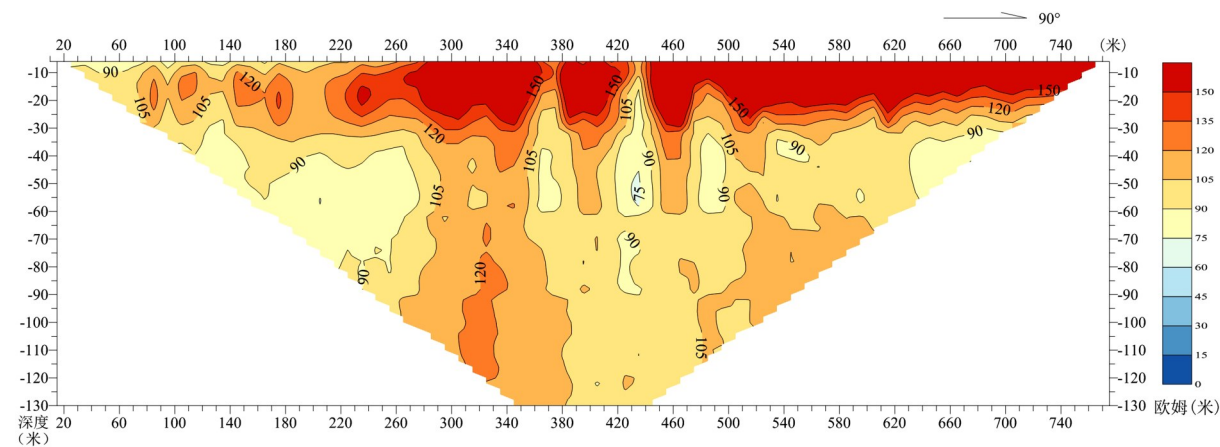


图7 高密度电阻率法Ⅱ线视电阻率-深度断面图
Fig.7 Apparent resistivity depth section of high density resistivity method of line 2

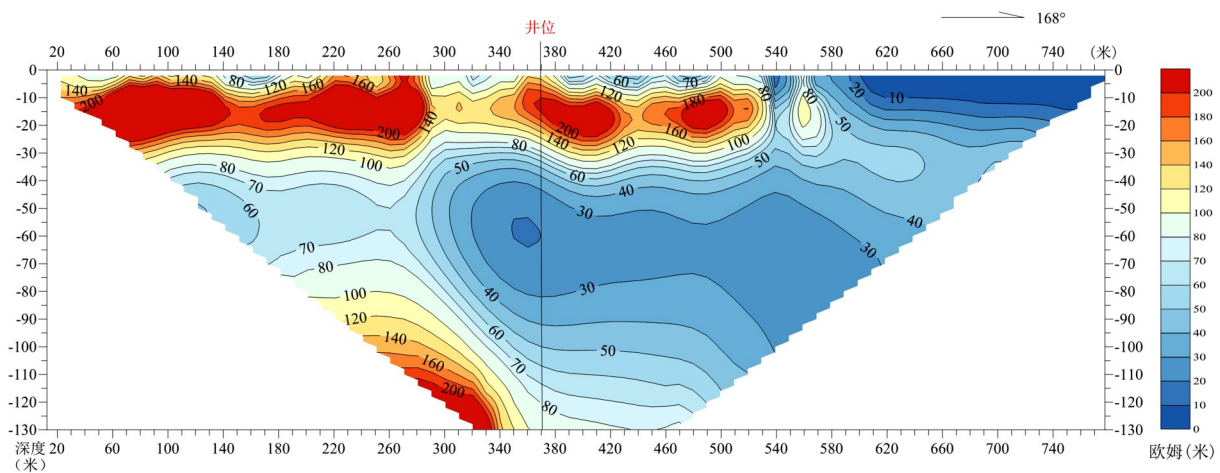


图8 高密度电阻率法Ⅰ线二维反演电阻率-深度断面图
Fig.8 2-D inversion of resistivity section of high density resistivity method of line1

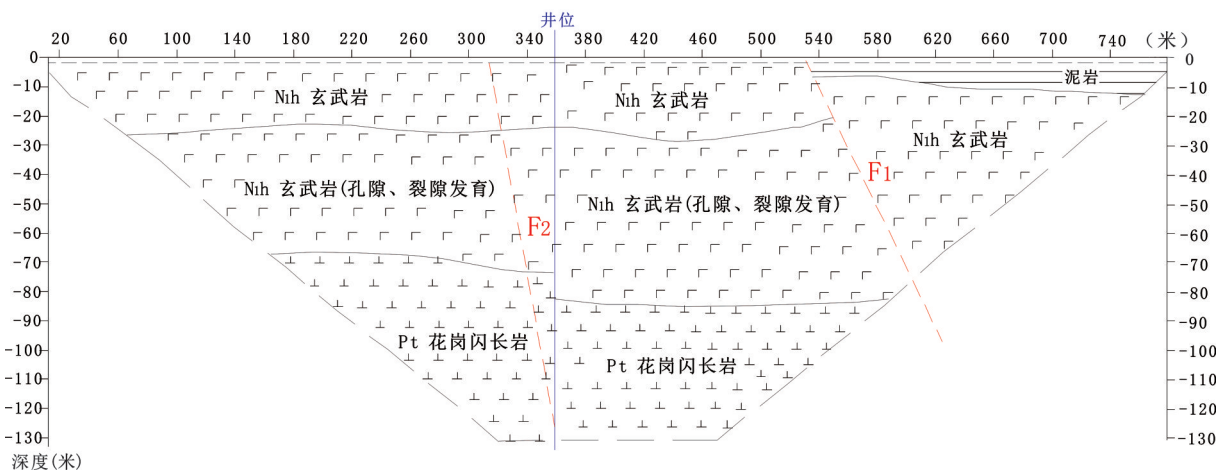


图9 高密度电阻率法Ⅰ线推断地质断面图
Fig.9 Inferred geological section of High density resistivity method of line1

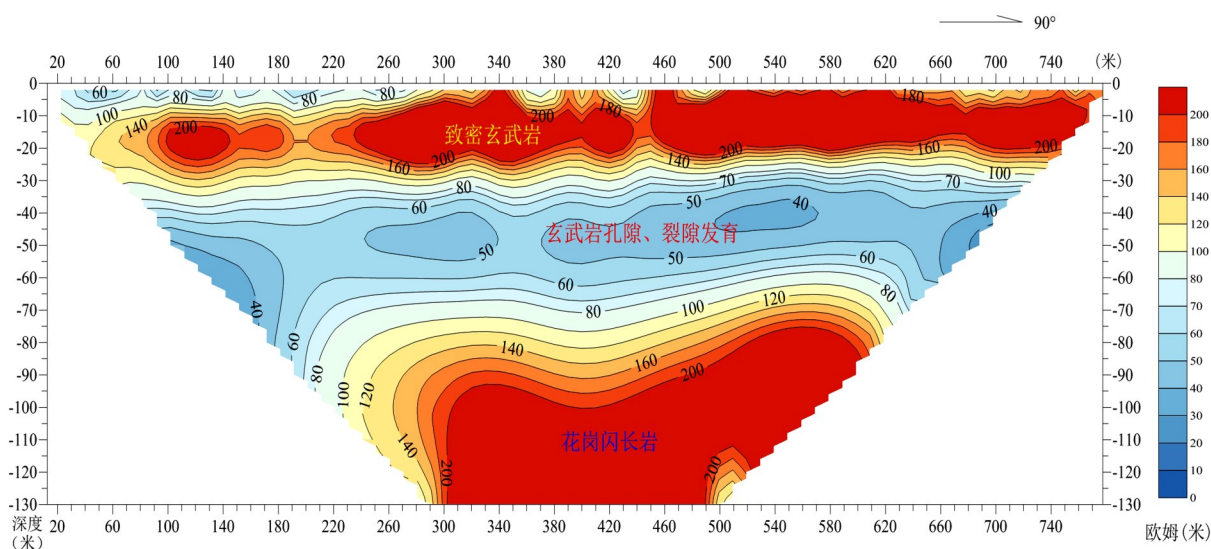


图10 高密度电阻率法Ⅱ线二维反演电阻率-深度断面图

Fig.10 2-D inversion of resistivity section of high density resistivity method of line2

埋深40~80m玄武岩孔隙、裂隙发育,构成小范围内玄武岩似层状含水层;向南该含水层发育至F1断层,向北该含水层应止于CSAMT法测线200m处。故分析认为寻找NE向断层以北闪长岩中发育的断裂构造是获得较大出水量井位的最佳途径。

同时高密度Ⅰ线推断地质断面(图9)揭示断层F1和F2所夹持地块浅部致密玄武岩下伏玄武岩裂隙更加发育,表现为30Ω·m等值线所围限区域。近F2断层,玄武岩孔隙、裂隙应更加发育,推测有孔洞水存在的可能。

综合判断,井位定于高密度Ⅰ线370m处较为合适。根据定井位置,部署水文地质钻孔,目前已终孔,钻孔孔深170m,总体出水量130m³/h,根据钻孔资料可知(图11),井位2~80m为玄武岩,局部气孔构造,全孔段岩石较破碎,主要含水层为玄武岩孔洞,下伏花岗闪长岩亦破碎含水。

通过钻探资料可知^[29],含水层类型为玄武岩孔洞水,含水层顶板埋深约30~50m,底板埋深70~80m,与测井资料(图12)验证了物探结果的正确性,钻进中于埋深57~72m间掉钻,未能取得岩芯;聚焦电阻率测井显示该段电阻率值仅有十几欧姆米,与上下段破碎玄武岩电阻率值差异较大。

5 结论

(1)两种或多种物探方法相结合,在张北坝上玄武岩区找水是可行、有效的。CSAMT法和高密度电阻率法均具有抗电磁干扰强的特点,在风电区作业

可避免电磁干扰问题,有效保障所采集数据的质量,在风电区是找水的较优组合模式。

(2)在满足地球物理前提的条件下,通过CSAMT测量有效推断出控盆断裂的位置与走向,为后期的工作布设提供了可靠依据,有效提高工作效率。引入高密度电法,开展多种综合物探工作,相互验证,克服多解性并取得了符合实际的地质效果。

(3)通过高密度电法与CSAMT法相互验证,可高分辨率精细刻画地质结构,对区域性特别是玄武岩孔隙、裂隙水勘查提供了新思路及物探依据。

参考文献:

- [1] 郭二强. 河北省张北县城新水源地开发利用建议[J]. 铀矿地质, 2016, 14(1): 201-204.
- [2] 河北水文工程地质勘察院. 张家口市坝上地区地下水水资源勘查评价报告[R]. 石家庄: 河北水文工程地质勘察院, 2014.
- [3] 杜春萍. 张北县水资源现状及发展意见[J]. 河北渔业, 2001(03): 42-45.
- [4] 王玮. 张北湖泊群水量变化驱动因子分析[D]. 河北师范大学, 2010.
- [5] 马小雷, 孟军省, 付丹平. 典型生态脆弱区环境地质问题及防治对策研究——以河北坝上地区为例[J]. 地下水, 2020, 42(02): 122-126.
- [6] 张悦. 河北省张北县小二台镇一带地热资源赋存研究[D]. 中国地质大学(北京), 2018.
- [7] 河北省地质局水文地质大队. 张家口坝上玄武岩区新构造运动熔岩地貌的研究及其水文地质意义[R]. 邯郸: 河北省地质局水文地质大队, 1978.
- [8] 谭绩文, 刘亚民. 汉诺坝玄武岩次生洞穴形成条件及其水文

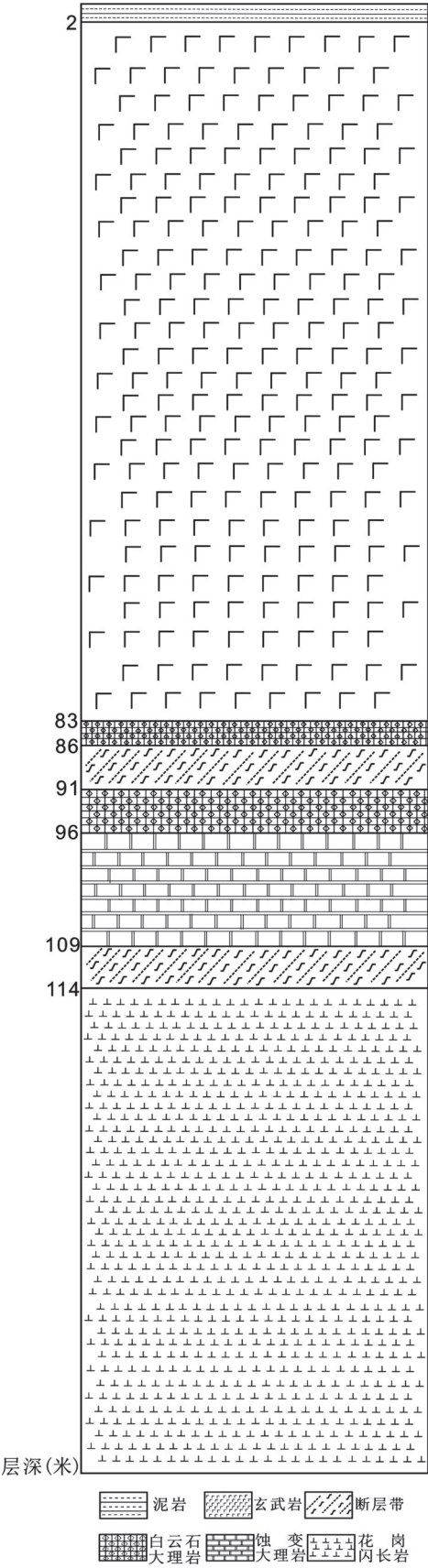


图 11 钻孔柱状图
Fig.11 Borehole histogram

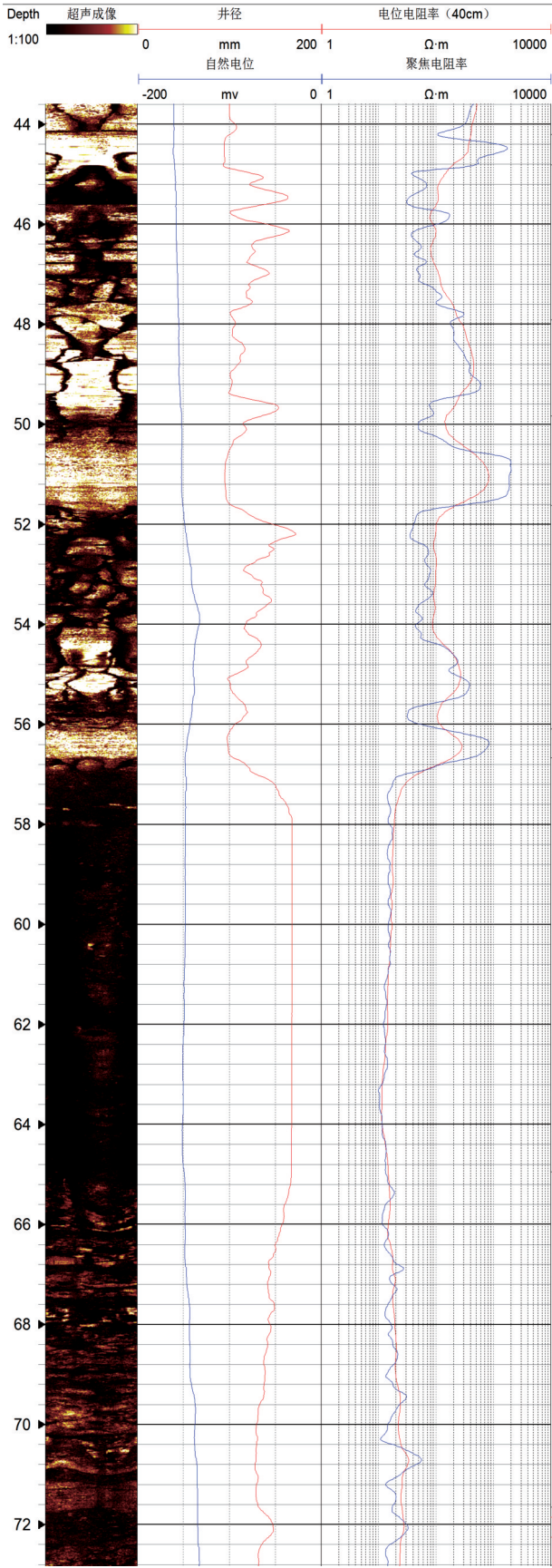


图 12 测井曲线
Fig.12 Logging curve

- 地质特征[J].河北地质学院学报,1983,(03):23-35.
- [9] 李天福,马鸿文,白志民.汉诺坝玄武岩的地球化学特征及成因模式[J].岩石矿物学杂志,1999,(03):3-5.
- [10] 邱家骧,李昌年,马昌前.汉诺坝玄武岩板块构造环境及岩浆成因机理的分析[J].岩石学报,1986,(03):1-12.
- [11] 邱家骧,李昌年.汉诺坝玄武岩的地质学与岩石化学特征[J].矿物岩石,1986,(03):5-16.
- [12] 戚帮申,丰成君,谭成轩,等.京张地区延矾盆地北缘活动断裂带桑园镇隐伏段综合地球物理及钻孔地层剖面研究[J].中国地质,2019,46(03):468-481.
- [13] 王行军,王德强,班长勇,等.冀西北康保、沽源一带新构造运动特征[J].地质调查与研究,2006,(01):38-46.
- [14] 李改梅,张国新.张家口火山(汉诺坝玄武岩)地质遗迹[J].科技信息,2011,(25):30-31.
- [15] 王行军.冀西北坝上地区新生代地层层序与环境研究[D].中国地质大学(北京),2006.
- [16] 付光明,黄进调,刘阳,等.高密度电阻率法与CSAMT法在江西会昌县坝背地热勘查中的综合探测[J].中国地质,2019,46(04):927-936.
- [17] 周乐,朱庆俊,罗旋,等.山东莱芜盆地古近系大汶口组含水层找水实例分析:以口镇官水河村为例[J].中国矿业,2020,29(S1):309-311+316.
- [18] 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(03):125-127.
- [19] 王刚,王启春,郭广礼,等.高密度电法不同装置在勘察中的对比研究[J].煤炭技术,2020,39(05):68-70.
- [20] 郭刚强.高密度电法在寻找地下水中的应用[J].四川地质学报,2020,40(02):298-300.
- [21] 赵寅.V8多功能系统及其在CSAMT勘查应用研究[J].世界有色金属,2019(21):189+191.
- [22] Jiang Chen, Zhizhong Li, Bilin Tian, Xiaoyan Chen, Jun Zheng, Chunpeng Zhang, Weijun Zhao, Fan Zhang. Using the CSAMT method to predict deep mineralisation of copper and molybdenum: a case study of the Zhongxingtun area in Inner Mongolia, China[J]. Exploration Geophysics, 2020, 51(2).
- [23] 付良魁.综合电法教程[M].北京:地质出版社.1983.
- [24] 山亚,曹秋义,孟凡兴,等.CSAMT法在伊和图地区古河道砂岩型铀矿勘查中的应用[J].地质调查与研究,2016,39(01):76-81.
- [25] 汤井田,何继善.可控源音频大地电磁法及其应用[M].长沙:中南大学出版社.2005
- [26] 邓超文.高密度电法的原理及工程应用[J].韶关学院学报,2007,(06):65-67.
- [27] Physics – Geophysics; Researchers from Nanchang Institute of Technology Describe Findings in Geophysics (An Application of the High-density Electrical Resistivity Method for Detecting Slide Zones In Deep-seated Landslides In Lime-stone Areas)[J]. Physics Week, 2020.
- [28] 太行山北段综合地质调查2019年度进展报告[R].保定:中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,2019.
- [29] 河北省地矿局第九地质大队.张北重点区1/5万水文地质调查钻探成果报告[R].邢台:河北省地矿局第九地质大队,2019.

Application of comprehensive electrical method in the exploration of basalt pore water in Zhangbei County

LUO Xuan, ZHU Qing-jun, YU Lei, LIAN Sheng, LU Fang

(Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, China Geological Survey, Baoding Heibei 071051, China)

Abstract: With the economic development and population growth in Bashang area of Zhangbei County, the demand for groundwater is increasing sharply, which leads to the rapid decline of groundwater level and the plight of water shortage. It is an urgent problem to find out the hydrogeological conditions of the Bashang area in Zhangbei County and to find out the occurrence law of groundwater in this area. By application of CSAMT method and high density electrical method, the stratigraphic structure, faults and aquifer distribution of xidanao village in Zhangbei County are found out, and the hydrogeological borehole location is determined in detail. The water yield reaches 130 m³/h, which solves the problem of local water shortage. CSAMT method and high density resistivity method have achieved good results in the exploration of basalt pore water, which provides an important basis for further improving the utilization rate of water resources in Zhangbei County.

Key words: CSAMT method; high density resistivity method; basalt; pore water; application effect