

doi: 10.11720/wtyht.2019.1326

何祎,雷晓东,关伟,等.北京副中心地区燕郊断裂空间展布特征[J].物探与化探,2019,43(3):461-467.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1326>

He Y, Lei X D, Guan W et al. Spatial distribution characteristics of Yanjiao fault in Beijing sub-central area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(3): 461-467. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1326>

北京副中心地区燕郊断裂空间展布特征

何祎¹, 雷晓东^{1,2}, 关伟¹, 李晨¹, 李巧灵¹

(1.北京市地质勘察技术院,北京 100120; 2.中国科学院地质与地球物理研究所 岩石圈演化国家重点实验室,北京 100029)

摘要:在北京通州副中心地区开展了高精度重力、可控源音频大地电磁测深与微动测深的综合物探工作,通过多种方法解译结果的对比分析,重新厘定了燕郊断裂位置,并在其北侧新发现一条支断裂,推断结果得到了钻孔验证。研究表明,在城市复杂人文电磁干扰环境下,采用重、电、震的组合方法调查断裂构造是有效、可行的。查明燕郊断裂及其支断裂的空间展布特征,对于北京城市副中心地热资源开发利用及地质灾害防治具有重要意义。

关键词: 高精度重力; 可控源音频大地电磁; 微动测深; 燕郊断裂; 北京副中心

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)03-0461-07

0 引言

北京副中心建设不仅是解决北京城市发展中的空间结构矛盾的需要,也是推动京津冀协同发展、探索人口经济密集地区优化开发模式的需要。为了保障城市地质安全,急需查明地下断裂构造的空间展布特征,为城市规划、建设与管理提供依据。

虽然北京市先后完成了两轮 1:5 万区域地质调查,编写了区域地质志,并在钻孔资料及物探资料基础上,编制了前《北京市平原区(前新生界)地质构造图》,前人对通州区内的夏垫断裂与南口—孙河断裂开展了相关研究^[1],但工作精度仍不能满足工程建设的需要。特别是燕郊断裂是否通过了副中心核心区,直接关系到市政办公大楼等项目的选址。为此,北京市地勘局先后组织实施了“通州某建设新区地质条件适宜评价”与“通州城市副中心地区重大地质问题调查与评价”等项目,其中主要任务之一就是查明断裂位置。

本文通过高精度重力、可控源音频大地电磁测深(CSAMT)与微动测深三种物探方法,按照“面—

线—点”的技术路线,对燕郊断裂的空间展布特征进行了深入研究,查明了该断裂位置,推断了产状特征,并在其北侧新发现一条近 EW 向断裂。研究成果为该区域地质灾害防治及地热资源开发利用工作奠定了良好的基础。

1 区域地质背景

研究区位于北京通州区东部,大地构造上处于华北断坳大隆起之黄村迭凸起东北缘。新生代以来主要受印度洋板块向北挤压应力影响和太平洋板块向 NNW 俯冲的影响,华北地块内中生代以来形成的 NE—NNE 向断裂体系再次活动,并产生了一系列 NW 向断裂^[2]。研究区正位于 NW 向张家湾断裂与 NE 向燕郊断裂交汇部位(图 1)。

张家湾断裂属于南口—孙河断裂带的一部分,位于新华—玉桥—张家湾—张辛庄一带,总体走向 310°。燕郊断裂位于本区东南部的张辛庄—黎辛庄—七级村—沙窝一带,属喜马拉雅期形成的断裂,被张家湾断裂错断。李桥断裂位于本区东北部,北起顺义断裂,经沙窝,止于南苑—通县断裂。

收稿日期: 2018-09-11; 修回日期: 2019-01-31

基金项目: 中国地质调查局项目“北京市平原区 1:5 万工程地质调查”(12120114033901); 北京市地质矿产勘查开发局项目“通州某建设新区深部地热资源勘查与示范”(PXM2016_158307_000013)

作者简介: 何祎(1986-)男,工程师,主要从事深部地热资源调查研究工作。Email: adonis_hy@163.com

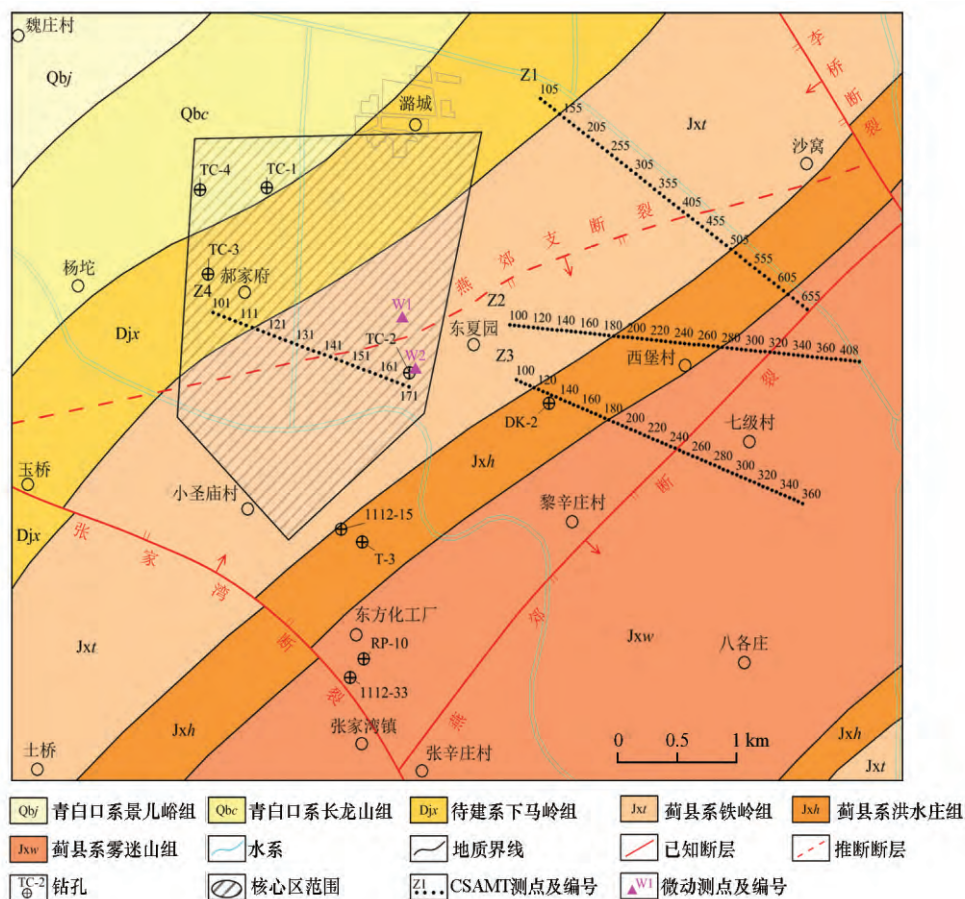


图1 研究区地质构造与工作布置

Fig.1 Geological structure and work layout of the study area

钻孔揭露区内地层为第四系、青白口系景儿峪组和长龙山组、待建系下马岭组、蓟县系铁岭组和洪水庄组及雾迷山组^[3]。第四系岩性为黏性土、中细砂及卵砾石。青白口系长龙山组为一套砂、砾岩和页岩组合;景儿峪组岩性比较单一,主要是浅灰、紫红、蛋青及黄绿色泥灰岩、硅质泥晶灰岩等。待建系下马岭组主要由灰色、灰绿色、灰黑色页岩和粉砂岩组成。蓟县系铁岭组主要以白云岩为主,夹杂绿灰色页岩;洪水庄组以黑色和深灰色页岩、粉砂质页岩为主,夹薄层白云岩和少量砂岩;雾迷山组为一套富镁碳酸盐岩,夹少量碎屑岩和黏土岩。

2 地球物理背景

本次工作所使用的物性参数主要来自原北京市物化探队在通县幅开展的区域物探工作成果,以及2015年北京市地质勘察技术院在北京市平原区重力调查项目中所完成的岩石物性参数测试工作。第四系电阻率常见值为 $10 \sim 100 \Omega \cdot m$,横波速度在 $300 \sim 700 m/s$,平均密度为 $1.53 g/cm^3$;青白口系电

阻率常见值为 $100 \sim 500 \Omega \cdot m$,横波速度在 $1800 \sim 2200 m/s$,平均密度为 $2.63 g/cm^3$;待建系下马岭组电阻率及横波速度均与青白口系相近,平均密度为 $2.50 g/cm^3$;蓟县系电阻率常见值为 $500 \sim 1000 \Omega \cdot m$,横波速度大于 $2000 m/s$,平均密度为 $2.77 g/cm^3$ 。综上所述,研究区内不同地层之间存在较明显的物性差异,具备开展物探工作的前提。

3 数据采集与资料处理

3.1 高精度重力

高精度重力测量使用两台加拿大 Scintrex 公司生产的 CG-5 重力仪,按照 $1:10\,000$ 比例尺的测网密度进行,重力基点与国家重力基本点联测。数据整理严格按照重力调查技术规范要求,统一采用2000国家重力基准;统一采用1954年北京坐标系和1985国家高程基准;统一采用国际大地测量协会(IAG)推荐的1980年公式计算正常重力值。数据经预处理、插值网格化、异常光滑、区域背景场与剩余异常分离后得到研究区内剩余重力异常;再计算

水平梯度模极大值以识别场源边界。

3.2 可控源音频大地电磁测深(CSAMT)

可控源音频大地电磁测深使用 GDP-32 II 多功能电法仪进行数据采集,观测频率范围在 0.5~8 192 Hz,采用标量测量方式观测 E_x 、 H_y 两个分量。为了降低干扰因素的影响,采取了噪声水平观测、增加叠加次数、加大供电电流、避开干扰严重时段采集数据等措施。资料处理主要包括:数据编辑、静态位移校正与地形校正。本次工作用于资料解释的数据全部采用远区数据。

3.3 微动测深

微动测深使用重庆地质仪器厂 EPS-2 地震仪,测量频带宽度在 0.2~200 Hz,观测系统采用四重圆形阵列形式,每个圆形阵列由放置于三角形顶点和中心点的 4 套仪器组成。各组圆形阵列的观测半径 r 分别为 80、160、320、640 m。各台仪器独立完成数据采集,多台仪器之间的时间同步和校正由内置 GPS 通过接受卫星信号自动完成。采用空间自相关法——SPAC 法,从微动记录中提取瑞雷波并计算各台阵的瑞雷波频散曲线,用个体群探索分歧型遗传算法(fGA),由相速度频散曲线反演地下 S 波速

度结构,用于地层分层解释。

4 资料解释

4.1 高精度重力

通过对重力异常数据采用滑动窗口平均法求取区域场后,计算得到研究区内剩余重力异常(图 2a)。从图中可见,剩余重力异常值呈现西北高东南低的趋势,变化范围 $-0.6 \sim -0.4$ mGal,异常幅值较小,说明研究区基岩面埋深变化大。趋势上为北部与西南埋藏浅中部与东南部埋藏深。根据重力异常等值线密集带的走向,可以清晰地看到 NW 走向的张家湾断裂与 NE 走向的燕郊断裂,且在燕郊断裂以北仍存在一近 EW 向的等值线密集带,说明该区域可能有断裂构造发育,但其规模小于燕郊断裂。

Theta 图是利用位场数据识别构造边界的新方法^[4],其表达式为重力异常水平变化与垂直变化的比值函数,该方法计算浅源地质体边界的效果较好。从研究区重力场源 Theta 图中(图 2b)可见,在燕郊断裂以北存在一组由多段高值区所组成的近 NE 向异常带,推测为一小型断裂构造的反映。

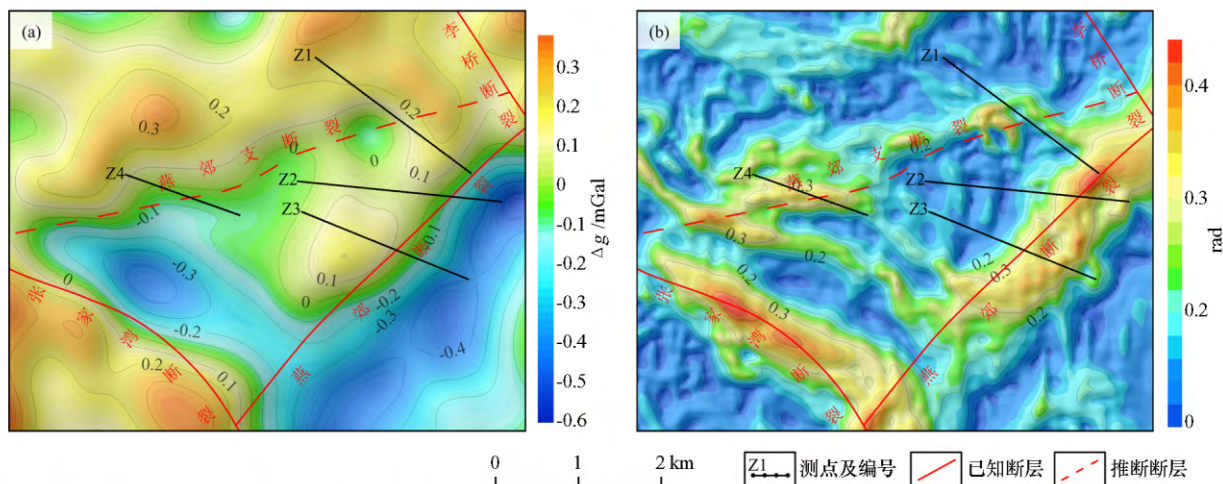


图 2 测区剩余重力异常平面(a)及重力场源 Theta 图(b)

Fig.2 Residual gravity anomaly(a) and Theta diagram(b)

4.2 可控源音频大地电磁测深(CSAMT)

本次工作共布置了 4 条 CSAMT 剖面,其中 Z2、Z3 线主要目的是查明燕郊主断裂的空间展布特征,Z1、Z4 线目的是查证根据重力资料所推测出的断裂构造,并进一步查清其所处位置。

从图 3 中各测线的反演电阻率等值线断面图可见,反演电阻率值大致可以分为三个电性层。浅部 400 m 深度上下为含局部高阻圈闭的低阻层,推测为第四系的反映;下部为均匀的高阻层,推测为蓟县

系碳酸盐岩、白云岩的反映;浅部低阻层与深部高阻层之间局部含宽缓的中阻层,推测为青白口系或待建系页岩、砂岩、灰岩的反映。

根据张性正断层在反演电阻率等值线断面图中通常表现为密集陡变带的特征,推测在 Z1 线 1 850 m、Z2 线 2 150 m、Z3 线 1 700 m、Z4 线 900 m 处发育有断裂构造。根据反演电阻率值横向变化特征,可以划分出同一电性特征的地层的埋深变化。对比分析 Z2 与 Z3 线反映了燕郊断裂的空间展布特征;Z1

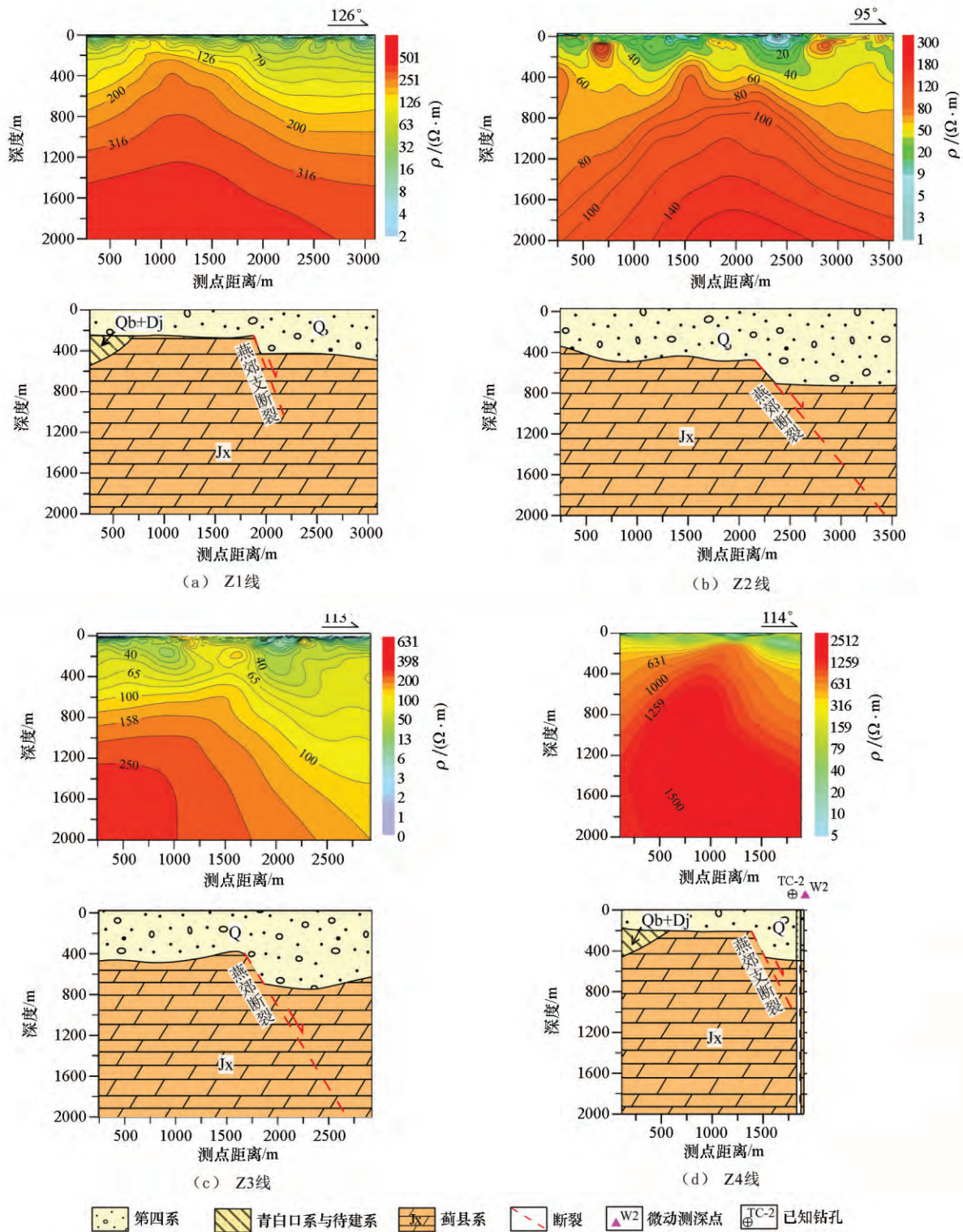


图3 测区CSAMT反演电阻率断面及地质解释推断结果

Fig.3 CSAMT Inversion resistivity isoline and geological interpretation and inference map

与Z4线上的断裂为新发现断裂构造,命名为燕郊支断裂。

燕郊断裂倾向ES,产状较陡,断裂向深部延伸深度大于1500 m,断裂规模较大,断距约在200~400 m。燕郊支断裂倾向ES,产状较陡,断裂向深部

延伸深度在400 m左右,断裂规模较小,断距约在100~200 m。燕郊断裂与燕郊支断裂将研究区分割为三块由北向南基岩埋深逐渐加深的区域,燕郊支断裂以北区域基岩埋深在200~300 m;燕郊断裂以南区域基岩埋深达到700 m左右;两条断裂之间的

过渡区域基岩埋深在 400 m 左右。

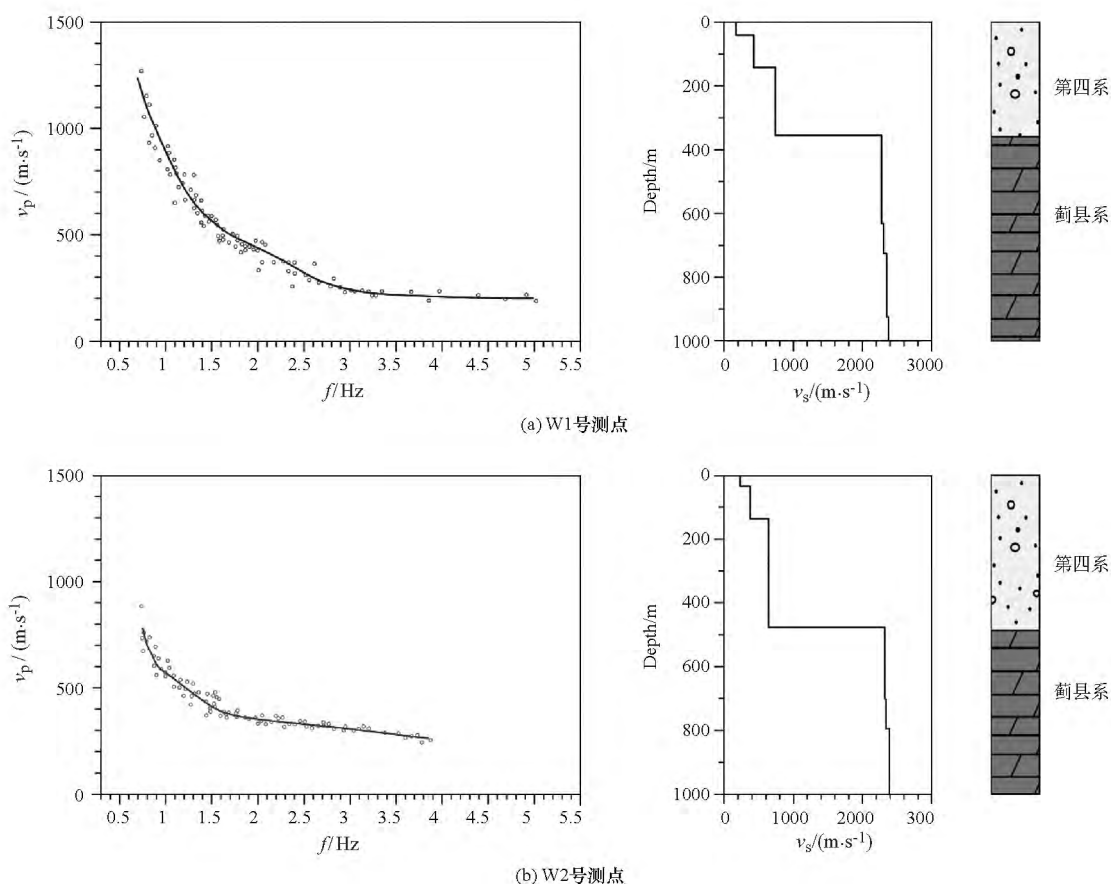
4.3 微动测深

微动测深通常被用作“虚拟钻孔”来查明地层纵向分层特征,为查证断裂上下两盘之间存在断差,在新发现的燕郊支断裂两侧布置了 W1 与 W2 两微动测深点,两点之间直线距离约为 500 m。

W1 号测点实测频散曲线(红点为实测频散点,蓝线为反演拟合频散曲线)及反演横波结构图(图 4a),从中可以看出实测相速度频散曲线光滑且收敛,实测微动测深频散点与反演拟合频散曲线吻合

较好,且呈现出较明显的对应速度变化界面的拐点。根据反演速度结构图可以将深部地层大致分为 7 层,第 1~3 层为低速层,推测为第四系松散沉积物的反映;第 4~7 层为高速层,推测为蓟县系碳酸盐岩及白云岩的反映。

W2 号测点与 TC-2 钻孔位置相近,可以根据钻孔揭露地层埋深情况对模型的反演计算进行约束,确保反演结果的准确性。该点反演得到的速度结构图(图 4b)大致可分为 6 层,第 1~3 层反映了第四系低速层,第 4~6 层反映了蓟县系高速层。



a—W1 号测点频散曲线(左)、视 S 波速度结构(中)、地质解释(右); b—W2 号测点频散曲线(左)、视 S 波速度结构(中)、地质解释(右)
a—dispersion curve of W1 measuring point (left)、visual S-wave velocity structure (middle)、geological interpretation(right);
b—dispersion curve of W2 measuring point (left)、visual S-wave velocity structure (middle)、geological interpretation(right)

图 4 微动测深点频散曲线及推断解释结果

Fig.4 The dispersion curve of the microdynamic sounding point and the inference diagram

两个微动测深点反演高速层顶界面埋深分别为 380 m 与 480 m,相差 100 m,进一步佐证了前述物探工作所推燕郊支断裂的存在。

4.4 解释成果

单方法物探解释难以避免多解性的问题,目前针对这一问题最有效的方法就是应用综合物探解释^[5]。该方法是采用不同物探手段获取目标地质体不同的物性参数,并利用其与围岩物性差异,通过

反演计算获得目标体的空间形态特征。

重力异常可以大致反映不同密度层的起伏变化或断裂构造特征,但在缺少岩石密度参数与钻孔资料的情况下,难以做出准确的定量解释。本次工作首先通过重力异常分析,定性解释出张家湾断裂、燕郊断裂及燕郊支断裂的大致空间分布特征,随后有针对性的布置了 4 条 CSAMT 测线,并且与最新的钻孔 TC-2 相结合,根据电性参数分析结果,将研究区

划分为三个电性层: 第一层为总体低阻而局部高阻的第四系; 第二层为中阻的青白口系与待建系; 第三层为高阻的蓟县系。根据其电性特征, 对地层的埋深和断裂构造进行了定性解释。

微动测深资料的解释从已知钻孔数据出发, 通过 TC-2 钻孔揭露地层埋深进行约束反演, 求取最优反演计算参数, 进而得到 W1 号点深部地层准确的埋深。并将该结果作为 CSAMT 数据解释的依据, 通过不断修改初始模型, 以已知钻孔数据作为控制条件, 对地层埋深及厚度进行再次反演与解释。

最新施工完成的 TC-2 号钻孔位于 Z4 线的东端 (图 3h), 钻探过程中在 1 172~1 183 m 段泥浆全泵量漏失, 推测由断裂破碎带形成的富水带导致了泥浆大量漏失。该钻孔在 478 m 钻遇灰色、灰褐色白云岩, 属蓟县系铁岭组; 终孔深度 2 800 m, 未能穿透蓟县系雾迷山组。根据反演电阻率推测得到的基岩顶界面与钻探揭露地层情况几乎一致。

5 结论

本次采用高精度重力、CSAMT 及微动测深的综合物探方法, 查明了区内燕郊断裂及其支断裂的空间展布特征, 新发现了燕郊支断裂。该断裂走向近 EW, 倾向 S, 断距在 100 m 左右, 分布于玉桥—东夏园—沙窝一带, 长度约为 7 km, 在沙窝附近与燕郊断裂交汇。

通过采用多种物探方法相结合的办法, 有效地减少了单一物探多解性问题, 提高了解释精度, 很好地查明了区内地层埋深与断裂构造空间展布特征。本次成果表明, 采用由重力、CSAMT 与微动测深组成的综合物探方法, 在城市地区调查断裂构造工作中效果较好。

参考文献 (References):

- [1] 雷晓东, 胡圣标, 杨全合, 等. 北京南口—孙河断裂带水热系统特征与成因分析[J]. 地球物理学报, 2017, 60(5): 1838-1850.
Lei X D, Hu S B, Yang Q H, et al. Characteristics of hydrothermal system and its origin of Nankou-Sunhe fault in Beijing[J]. Chinese Journal of geophysics, 2017, 60(5): 1838-1850.
- [2] 方迎尧, 范正国, 乔春贵, 等. 北京南部地区地球物理特征与区域地质构造[J]. 物探与化探, 2005, 29(1): 5-9.
Fang Y Y, Fan Z G, Qiao C G, et al. Geophysical characteristics and regional geological structures of south Beijing[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2005, 29(1): 5-9.
- [3] 吕金波, 郑桂森, 李良景, 等. 北京平原区地质剖面的初步建立——太古宙结晶基底和元古宙地层[J]. 中国地质, 2016, 43(3): 879-889.

- Luy J B, Zheng G S, Li L J, et al. Primary establishment of stratigraphic section in plain area of Beijing: Archean crystalline basement and Proterozoic strata[J]. Geology in China, 2016, 43(3): 879-889.
- [4] 王万银, 邱之云, 杨永, 等. 位场边缘识别方法研究进展[J]. 地球物理学进展, 2010, 25(1): 196-210.
Wang W Y, Qiu Z Y, Yang Y, et al. Some advances in the edge recognition of the potential field[J]. Progress in Geophysics, 2010, 25(1): 196-210.
- [5] 张磊, 白凌燕, 蔡向民, 等. 北京南口-孙河断裂北西段综合物探剖面定位及其活动性研究[J]. 现代地质, 2014, 28(1): 234-242.
Zhang L, Bai L Y, Cai X M, et al. Study on the position of north west section of Nankou-Sunhe fault in Beijing and its activity[J]. Geoscience, 2014, 28(1): 234-242.
- [6] 何付兵, 白凌燕, 王继明, 等. 夏垫断裂带深部构造特征与第四纪活动性讨论[J]. 地震地质, 2013, 35(3): 490-505.
He F B, Bai L Y, Wang J M, et al. Deep structure and quaternary activities of the Xiadian fault zone[J]. Seismology and Geology, 2013, 35(3): 490-505.
- [7] 徐锡伟, 江桂利. 用钻孔地层剖面记录恢复古地震序列: 河北夏垫断裂古地震研究[J]. 地震地质, 2000, 22(1): 9-19.
Xu X W, Jiang W L. Reconstruction of paleoearthquake sequence using stratigraphic records from drill logs: a study at the Xiadian fault in Beijing[J]. Seismology and Geology, 2000, 22(1): 9-19.
- [8] 黄秀铭, 汪良谋, 徐杰, 等. 北京地区新构造运动特征[J]. 地震地质, 1991, 13(1): 43-51.
Huang X M, Wang L M, Xu J, et al. Characteristics of neotectonic movement in Beijing area[J]. Seismology and Geology, 1991, 13(1): 43-51 (in Chinese with English abstract).
- [9] 赵勇, 蔡向民, 王继明, 等. 北京平原构造断块划分及微断块第四纪活动性探讨[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1876-1884.
Zhao Y, Cai X M, Wang J M, et al. The division of "small blocks" of structure in Beijing plain and a discussion on the activity of micro block in quaternary period[J]. Geology in China, 2015, 42(6): 1876-1884.
- [10] 高林志, 丁孝忠, 曹茜, 等. 中国晚前寒武纪年表和年代地层序列[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1014-1020.
Gao L Z, Ding X Z, Cao Q, et al. New geological time scale of late Precambrian in China and geochronology[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1014-1020.
- [11] 马国庆, 黄大年, 于平, 等. 改进的均衡滤波器在位场数据边界识别中的应用[J]. 地球物理学报, 2012, 55(12): 4288-4295.
Ma G Q, Huang D N, Yu P, et al. Application of improved balancing filters to edge identification of potential field data[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2012, 55(12): 4288-4295.
- [12] 马国庆, 杜晓娟, 李丽丽. 位场数据边界识别的新方法——增强型水平导数法[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(1): 402-408.
Ma G Q, Du X J, Li L L. New edge detection method of potential field data-enhanced horizontal derivative method[J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(1): 402-408.
- [13] Yuan Y, Gao J Y, Chen L N. Advantages of horizontal directional Theta method to detect the edges of full tensor gravity gradient data

- [J].Journal of Applied Geophysics, 2016, 130: 53-61.
- [14] 胡平, 刘保金, 白立新, 等. 奥林匹克公园地区隐伏断裂综合探测[J]. 地球物理学报, 2010, 53(6): 1486-1494.
Hu P, Liu B J, Bai L X, et al. Synthetic exploration of the buried faults in Olympic park area [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(6): 1486-1494.
- [15] 李巧灵, 雷晓东, 李晨. 抗干扰编码电法在通州深部岩溶发育区地质构造探测中的应用[J]. 工程勘察, 2018, 46(2): 71-78.
Li Q L, Lei X D, Li C. Application of a coded electrical method with anti-interference ability to detect geological structures in Tongzhou karst areas [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2018, 46(2): 71-78.

Spatial distribution characteristics of Yanjiao fault in Beijing sub-central area

HE Yi¹, LEI Xiao-Dong^{1,2}, GUAN Wei¹, LI Chen¹, LI Qiao-Ling¹

(1. Beijing Institute of Geo-exploration Technology, Beijing 100120, China; 2. State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The integrated geophysical exploration work of high-accuracy gravity, CSAMT and microtremor survey was carried out in Tongzhou District, capital subcenter of Beijing, the position of Yanjiao fault was redetermined and one new branch fault was discovered in the north of Yanjiao according to repeated comparison and analysis of different results interpreted in many ways. In addition, the results were proved by some boreholes. These surveys indicate that the utilization of combinational method of gravity, electricity and vibration to investigate the fault structure won't be feasible under the disturbance of the complex electromagnetic environment in cities. The spatial layout features of Yanjiao fault and branch fault will be significant in the development of geothermal resources and prevention of geological disasters.

Key words: high-accuracy gravity prospecting; CSAMT; microtremor survey; Yanjiao fault; Beijing sub-center

(本文编辑: 沈效群)