

CSAMT 在城市隐伏断层探测中的应用

夏训银¹,李毅²,王身龙¹,费海岩¹,王洪生¹,李福庆¹,李保凯¹

(1. 华北地质勘查局 519 大队,河北 保定 071051; 2. 中国五矿集团公司,北京 100101)

摘 要:介绍了 CSAMT 在城市隐伏断层探测中数据采集、资料处理方法和克服电磁干扰的技术措施。已有地质资料显示,北京昌平规划新区内存在多条隐伏断层。为了给规划新城提供基础地质资料,查清区内断层的准确位置、产状以及断层两侧的基岩埋深,布设了 4 条 CSAMT 剖面。结合地质资料对 4 条剖面进行了综合解释,给出了断层的准确位置。结果表明 CSAMT 在本区隐伏断层探测中的应用是有效的,可在城市隐伏断层探测中发挥重要作用。

关键词:CSAMT;隐伏断层;二维反演;区域地质调查

中图分类号:P631 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8918(2013)04-0687-05

浅部的隐伏活动断裂往往形成地震重灾带,因此,开展隐伏活动断裂的探测和评价对减轻城市地震灾害具有重要意义。由于断裂破坏了地层的连续性,造成地下岩石的物理性质发生变化,因此,在隐伏活动断裂探测中可以采用相应的地球物理方法进行探测,如二、三维地震,微重力,直流电法,电磁法等。可控源音频大地电磁法(CSAMT)由于工作效率高、抗干扰能力强、探测深度大、分辨力高等优点,已广泛应用在城市隐伏活动断裂探测中,并取得了较好的效果。

此次工作区位于北京市昌平区沙河镇附近,工作目的是查清区内南口断裂、影壁山断裂的空间位置以及断裂两侧的基岩埋深。由于区内人口密集,输电线、通信电缆及街道和高速公路等造成的电磁干扰非常严重,因此采用了 CSAMT 方法进行探测,为北京市规划新城前期的区域地质调查提供了可靠的基础资料。

1 测区概况

北京地区在大地构造上处于阴山纬向构造体系与祁连—贺兰山字型构造体系东翼构造带和新华夏构造体系的交接部位,印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动形成了较为复杂的地质构造。由于受阴山纬向构造体系的影响,区内构造以 NE 向和 NW 向断裂为主,其中黄庄—高丽营断裂带、南口—孙河断裂带、顺义断裂和夏垫断裂为活动断裂。根据地质资料,工作区附近发育的主要断裂有 NW 向的南口断裂和 NE 向的影壁山断裂、西沙屯断裂,以及一些

次级断裂^[1]。

工作区地处平原区,地表出露地层主要为第四系(Q)洪冲积松散沉积地层,昌平北侧残山出露寒武系及侏罗系。第四系地层下伏基岩包括太古界(Ar)、长城系(Ch)、蓟县系(Jx)、青白口系(Qb)、寒武系(Є)、奥陶系(O)、侏罗系(J)、白垩系(K)以及少量侵入岩。

为了解区内的岩石电性特征,收集了部分电阻率测井资料,并采集了 10 块出露的岩石标本进行电阻率测定,结果见表 1。可以看出,第四系洪冲积黏土、砂岩电阻率较低,一般小于 100 Ω·m,第四系下伏基岩电阻率较高,白云岩、白云质灰岩电阻率大于 1 000 Ω·m。根据以往工作经验,断裂破碎带呈低阻特性,一般电阻率也小于 100 Ω·m。从岩石电性特征看,本区具备开展 CSAMT 工作的地球物理前提。

表 1 工作区岩石视电阻率参数统计 Ω·m			
岩性	平均值	变化范围	备注
第四系(黏土、中细砂层)	25	10~40	测井资料
第四系(砾石、侵蚀带)	55	40~100	测井资料
白云岩、白云质灰岩	1233.9	557.9~1600.2	标本测定

2 数据采集

2.1 测线布设

根据区域地质资料布设了 4 条测线,其中,在南口断裂布设了 3 条平行测线(L1、L2、L3),在影壁山断裂布设了 1 条测线(L4),测线基本上垂直断裂沿小路布设,剖面总长度 12.25 km,点距 50 m,共 249

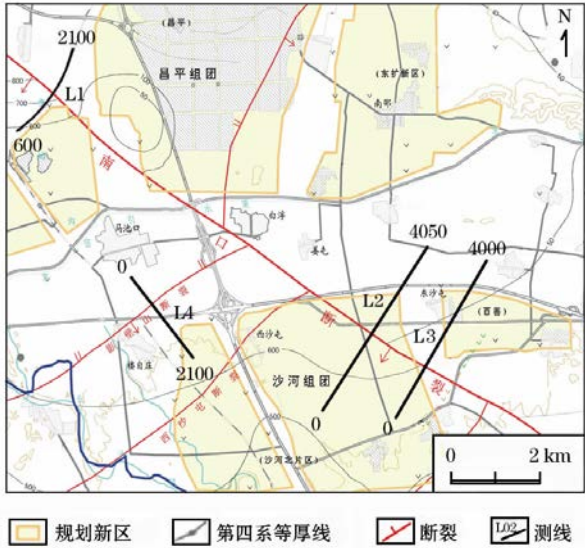


图 1 工作区 CSAMT 测线布置示意

个观测点。野外观测遇到障碍时进行了适当偏移。测线布置见图 1。

2.2 观测系统和参数选择

野外工作采用 CSAMT 标量测量方式,即一个发射场源,接收电场分量 E_x 与磁场分量 H_y ,其中 x 和 y 分别为沿测线方向和垂直测线方向。使用加拿大凤凰公司生产的 V8 多功能电法仪和 RXU-3ER 辅助接收机,一次发射可完成 8 个点的观测,T30 型 30 kW 发射机,最大输出功率为 20 kW,最大输出电压为 1 kV。该仪器场源与接收机采用 GPS 同步,可任意设置叠加次数和扫描时间,设置任意多个观测频点,提高了垂向分辨率和探测精度。

工作区人文干扰较大,为了采集到高质量的数据,进行方法试验和参数选择是十分必要的,尤其是对发射和接收频率、发射偶极长度、收发距大小等的选择。通过野外踏勘,确定了 3 组参数的对比试验,分别是①发射偶极 $AB = 1.1$ km、收发距 $r = 11.3$ km,②发射偶极 $AB = 1.7$ km、收发距 $r = 9.3$ km,③发射偶极 $AB = 2$ km、收发距 $r = 7.1$ km,工作频率为 9 600 ~ 1 Hz,低频最大发射电流为 19 A。试验结果见图 2。

由图 2a 可以看到, $AB = 1.1$ km、 $r = 11.3$ km 时,视电阻率曲线和阻抗相位曲线跳跃变化,曲线质量较差,看不出明显的曲线形态,有效信号较弱,不能有效地压制干扰。由图 2b 可以看到,增大发射极距,减小收发距后, $AB = 1.7$ km、 $r = 9.3$ km 时,总体上视电阻率曲线和阻抗相位曲线比较连续,有明显的曲线形态,有效信号可压制干扰,但高频段不太光滑,成锯齿状。由图 3c 可以看到,进一步增大发射极距,减小收发距, $AB = 2$ km、 $r = 7.1$ km 时,视电阻率曲线和阻抗相位曲线连续光滑,有效信号能较好地压制干扰,曲线形态与 $AB = 1.7$ km、 $r = 9.3$ km 时一致。试验结果表明,发射偶极 AB 在 1.7 ~ 2 km,收发距 r 为 7.1 ~ 9.3 km 的发射源,可以保证采集原始数据的质量。

本次工作共选用了 3 个发射源。其中 L1 剖面发射源位于测线西北, $AB = 1.7$ km、 $r = 7.1$ km;L2 和 L3 剖面共用一个发射源,位于测线东南, $AB = 2$ km、 $r = 9.3$ km 和 7.8 km;L4 剖面发射源位于测线西北, $AB = 1.9$ km、 $r = 8.3$ km。为了达到较大的探

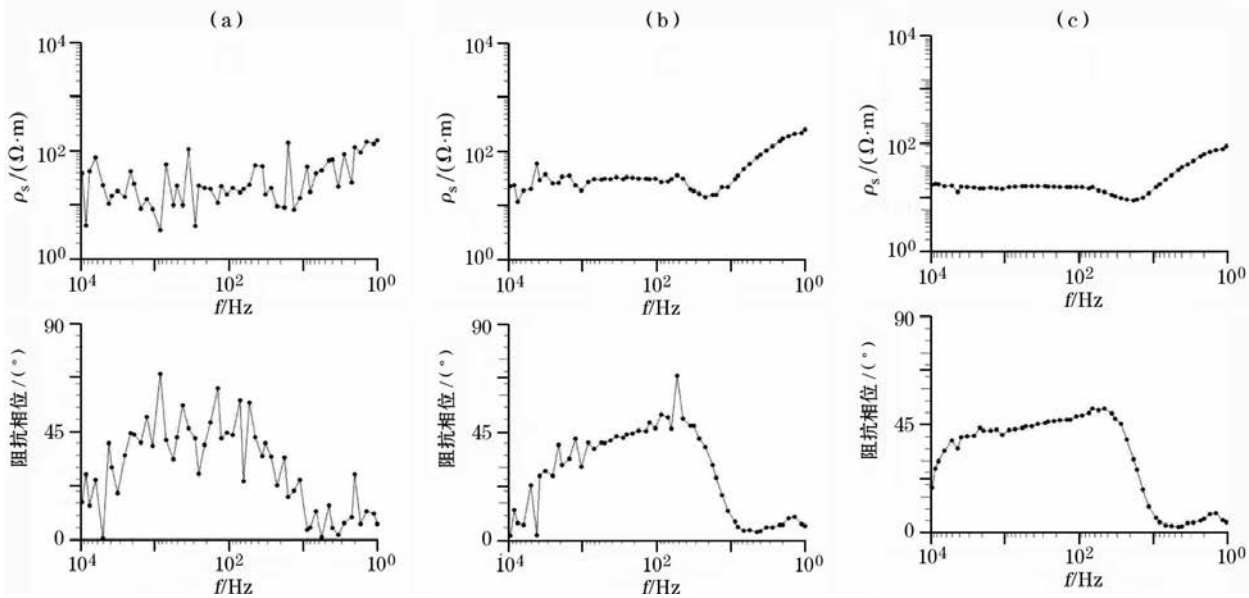


图 2 方法实验中的视电阻率、阻抗相位曲线

测深度,选择工作频率为 9 600 ~ 1 Hz。

2.3 提高观测数据质量的方法

由于收发距较大,为了确保发射的信号强度,有效压制干扰信号,提高观测数据的质量,尽可能地提高供电电流强度,低频段最大供电电流达 19 A。在数据采集时采用多次叠加技术,为了使每个频率的数据都有足够的叠加数据,设置全频率采集时间为 45 min ~ 1 h。

电场测量采用不极化电极,保证接地电阻小于 2 kΩ,电极极差小于 2 mV。磁棒埋设时与发射电极垂直,保证水平放置。观测时电极线和磁棒连线不得悬空、晃动,观测过程中随时监测视电阻率、相位

数据和曲线类型,发现问题及时解决。

工作区内有较多高压线、民用电线、通讯电缆和公路,具有较强的电磁干扰,这些电磁干扰源的频率范围较宽,很难用设置 50 Hz 陷波或设置滤波器来解决。但电磁干扰信号的影响与距离平方成反比,在数据采集时遇到高压线、民用电线、通讯电线和公路时,采用了偏离 30 ~ 50 m 距离的方法,明显减小了电磁干扰的影响。

3 数据处理与资料解释

野外资料采集完成后,首先使用凤凰公司 CMT-Pro 软件进行了数据的预处理,对同一频率的所有

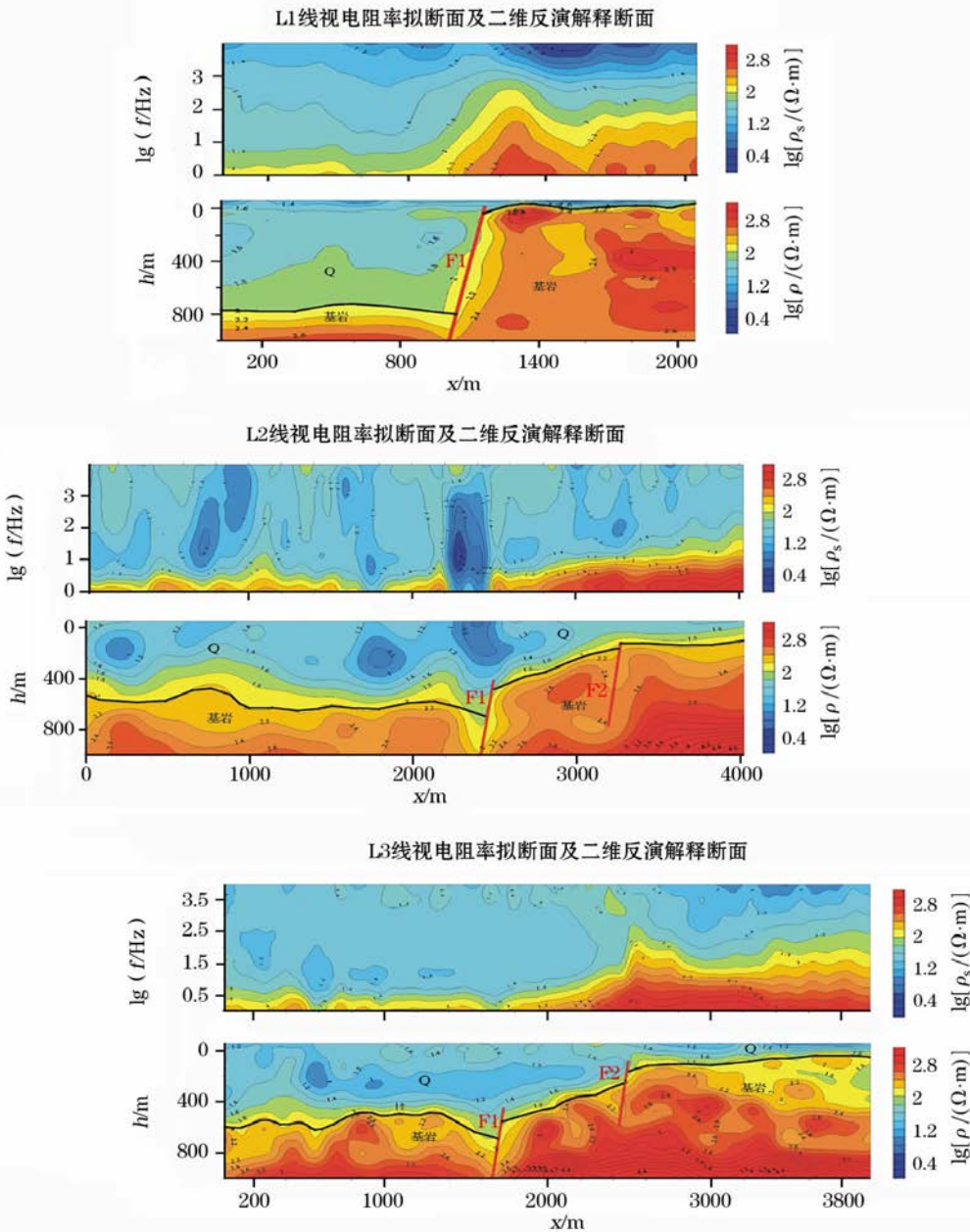


图3 南口断裂 L1、L2、L3 剖面 CSAMT 勘探成果

频谱数据进行编辑,剔除干扰产生的飞点,使其不参与频谱叠加;然后,使用成都理工大学 MTsoft2D 软件对整条曲线进行平滑去噪、静态校正和二维反演。

二维反演是在定性分析和地质资料分析的基础上进行的,反演方法采用二维大地电磁非线性共轭梯度(NLCG)法。反演时选用 Bostick 反演结果作为初始模型, TM 极化模式,模型平滑系数为 0.05,最大迭代次数为 20,最小拟合精度 0.05。反演过程中采取了直接计算全频域视电阻率的方法进行了近场和过渡场校正。反演结果先用 Surfer8.0 生成等值线图,再转成 MapGIS 数据格式,用 MapGIS 6.7 绘制剖面综合解释图。

图 3 为南口断裂 L1、L2、L3 剖面的视电阻率拟断面和二维反演解释断面。从剖面的电性分布特征分析,上部为低阻层,视电阻率一般小于 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,厚度由东向西增大,由几十米增大到 700 m,根据电性结构推断为第四系黏土、中细砂和砾石层的综合反映;下部为高阻层,视电阻率大于 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,横向

上局部变化较大,随着深度增加,层状特征更加明显,推测为本区白云岩、白云质灰岩等基岩的反映。

推断断裂的依据是:断裂造成岩石破碎,垂向上形成低阻带,横向上电性层发生错断,形成等值线梯度带。从图 3 可看出, L1 剖面 1 125 m 处 ρ_s 等值线横向不连续,出现明显的台阶,形成视电阻率梯度带,推断是断裂的反映,即 F1 断裂。 L2 剖面 2 425 m 和 L3 剖面 1 675 m 处出现明显的低阻异常带,低阻带两侧视电阻率等值线有明显的错动,推测为断裂,即 F1 断裂。在 L2 剖面的 3 230 m 和 L3 剖面 2 530 m 处有明显的视电阻率梯度变化带,推测是 F1 次级断裂 F2 的反映。结合地质资料分析推断, F1 与 F2 断裂组合为南口断裂带,其中 F1 为主断裂位置,断裂倾向南西,倾角较大($65^\circ\sim 70^\circ$),向下有较大延伸。断裂两侧基岩埋深差别较大,东侧基岩埋深为 50 ~ 150 m,西侧基岩埋深为 480 ~ 700 m。 L2 剖面 F1 上方的低阻异常,推测是由地表浅层干扰引起的。

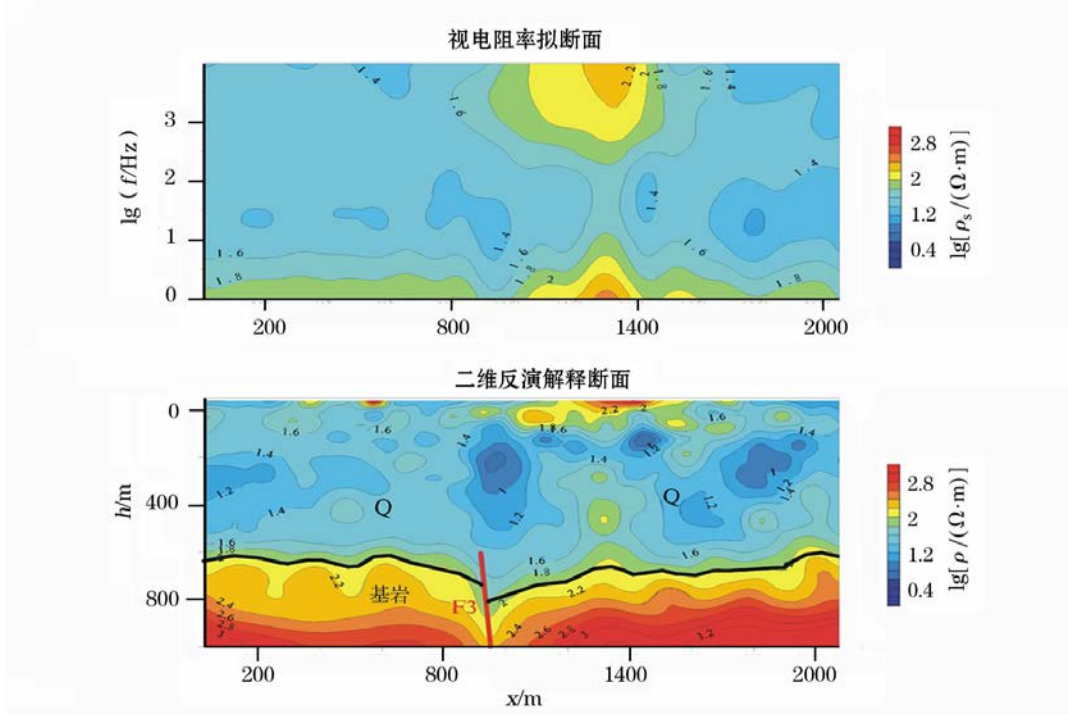


图 4 影壁山断裂 L4 剖面 CSAMT 勘探成果

图 4 为影壁山断裂 L4 剖面视电阻率拟断面和二维反演解释断面。从剖面的电性分布特征分析,上部为低阻层,视电阻率一般小于 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,根据电性结构推断为第四系黏土、中细砂和砾石层的综合反映;下部为高阻层,视电阻率大于 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,推测为本区白云岩、白云质灰岩等基岩,基岩埋深变化不大,为 600 ~ 700 m;位于 1 300 ~ 1 550 m 之间浅部的局部高阻是测线布设街道、公路附近,受车辆等

干扰造成的;在 950 m 处基岩内视电阻率等值线横向不连续,出现明显的低阻带,结合地质资料推断为影壁山断裂(F3)的反映。该断裂倾向南东,倾角约 70° ,断裂北西侧基岩埋深相对较浅,约为 650 m,南东侧基岩埋深大,约为 700 ~ 750 m。 F3 断裂上方的低阻异常,推测是受东南侧浅部干扰引起的,对断层的上断点判断影响较大。

综合以上 CSAMT 成果认识和地质资料分析,

L1、L2 和 L3 剖面的 F1 断裂即为南口断裂,反映断裂产状与已有资料基本吻合,断层的位置较原来向北东位移约 100 ~ 500 m。已有资料中没有 F2 断裂,推测是与南口断裂平行的次级断裂。F3 断裂即为影壁山断裂,其位置与产状与已有资料基本吻合。

4 结语

此次工作说明 CSAMT 法在工作区隐伏断层探测中的应用是有效的。但是,在城市及周边地区施工,电磁干扰较大,野外施工时要采取合理的技术措施,对高压电线、通讯电缆等干扰应尽量远离,以保证采集数据的质量。

本次工作较准确地确定了断裂的位置、产状和基岩的埋深,为规划新城前期区域地质调查提供了可靠的基础资料。但 CSAMT 工作还无法对断裂的活动性进行评价,应进一步开展地震和钻探工程,进行更深入的研究。

参考文献:

[1] 北京市地质矿产局.北京市区域地质志[M].北京:地质出版社,1991.

[2] 邓起东.城市活动断裂探测和地震危险性评价问题[J].地震地质,2002,24(4):601-605.

[3] 邓起东,徐锡伟,张先康,等.城市活动断裂探测的方法和技术[J].地学前缘,2003,10(1):93-103.

[4] 方盛明,张先康,刘保金,等.探测大城市活断层的地球物理方法[J].地震地质,2002,24(4):606-608.

[5] 潘纪顺,张先康,刘保金,等.城市活断层的抗干扰高分辨率浅层地震勘探研究[J].中国地震,2003,19(2):148-157.

[6] 高景华,徐明才.地震反射方法探测城市活断层中的几个问题[J].地质与勘探,2004(增刊):91-95.

[7] 夏训银,左万宝,张进国,等.三维地震在城市活断层探测中的应用[J].勘查科学与技术,2010年第01期:58-61.

[8] 董泽义,汤吉,周志明,等.可控源音频大地电磁法在隐伏活动断裂中的应用[J].地震地质,2010,32(3):442-452.

[9] 李谛全,底青云,王光杰,等.CSAMT 探测断层在北京新区规划中的应用[J].地球物理学进展,2008,23(6):1963-1969.

[10] 薛建,黄航,张良怀.探地雷达方法探测与评价长春市活动断层[J].物探与化探,2009,33(1).

[11] 何继善.可控源音频大地电磁法[M].长沙:中南工业大学出版社,1990.

[12] 石昆法.可控源音频大地电磁法理论与应用[M].北京:科学出版社,1999.

[13] 吴璐萍,石昆法.可控源音频大地电磁法在地下水勘探中的应用研究[J].地球物理学报,1996,39(5):712-717.

[14] 朱金华,冒我冬,白锦琳,等.CSAMT 法在断层含水性评价中的应用[J].物探与化探,2011,35(4).

[15] 柳建新,王浩,程云涛,等.CSAMT 在青海锡铁山隐伏铅锌矿中的应用[J].工程地球物理学报,2008,5(3):274-278.

[16] 于泽新,敖颖锋,吕景增,等.CSAMT 法在辽西康杖子区深部探矿中的应用[J].地质与勘探,2009,45(5):599-604.

[17] 成江明.可控源音频大地电磁法在隐伏煤矿区的应用[J].地球物理学进展,2008,23(4):1269-1272.

THE APPLICATION OF CSAMT EXPLORATION
TO DETECTING URBAN CONCEALED FAULTS

XIA Xun-yin¹, LI Yi², WANG Shen-long¹, FEI Hai-yan¹, WANG Hong-sheng¹, LI Fu-qing¹, LI Bao-kai¹
(1. No. 519 Geological Party, North China Geological Exploitation Bureau, Baoding 071051, China; 2. China Minmetals Corporation, Beijing 100101, China)

Abstract: This paper introduces the technical measures of the CSAMT in the detection of urban faults in the aspects of data acquisition, data processing and methods of overcoming the electromagnetic interference, on the basis of geological data available. There are multiple buried faults in the new district planning of Changping District in Beijing, as shown by the existing geological data. In order to provide the basic geological data for the new district planning and identify the exact location and attitude of the fracture as well as the buried depth of the bedrock on both sides of the fracture, the authors arranged four CSAMT profiles in the study area, obtained a comprehensive explanation of the 4 profiles, and determined the accurate location of the fault. The results show that the CSAMT is effective in buried faults detection and can play an increasingly important role in the exploration of buried faults in urban areas.

Key words: CSAMT; buried fault; 2D inversion; regional geological survey

作者简介: 夏训银(1966-),男,硕士,教授级高级工程师,长期从事地球物理方法的应用和研究工作。