技术方法

可控源音频大地电磁法在平阴县地质灾害调查中的应用效果

宋希利[1]，彭玉明[1]，王仕昌[2]

（1.山东省地矿工程勘察院，山东 济南 250014；2.山东省物化探勘查院，山东 济南 250013）

摘要：可控源音频大地电磁新方法在济南市平阴县安城乡东凤凰村地裂缝调查中发挥了重要作用，物探成果异常明显，推测了与地裂缝形成有关的隐伏断层产状，分析了地裂缝成因，据野外实地调查和访问，物探推测成果符合事实。该法在地质灾害调查等工程物探领域值得推广应用。

关键词：可控源音频大地电磁；地质灾害调查；地裂缝；平阴县

中图分类号：P631　　**文献标识码**：B

工作区位于山东省济南市平阴县安城乡东凤凰村，2008年7月在该村西南凤凰山山脚下的农田中出现了地表可见的裂缝，走向45°，裂隙面倾角近90°，最宽处约1.1 m，并与肥城西铺地裂缝连接在一起，在平阴地界内长约220 m左右，在肥城地界内延伸较长。在交界处肥城县内的村庄房屋上出现了宽1～3 cm的裂缝。为初步查明在平阴地界内地裂缝的形成原因，避免地裂缝的进一步扩大对人们的生命财产安全造成危害，济南市平阴县国土资源局委托山东省地质环境监测总站承担该项目的地质灾害调查工作，山东省地矿工程勘察院根据工作区地形、地质条件在该地区采用新方法新技术进行了地面物探勘查工作，取得了较好的地质效果，为整个项目的地质灾害调查、评价与治理提供了可靠的物探依据。

1　区域地质概况

1.1　地层

区内出露地层由老到新依次为：寒武系、奥陶系及第四系。

（1）寒武系：张夏组，其岩性主要以中厚层鲕状灰岩、豹皮灰岩为主，夹泥晶灰岩、薄层灰岩，含海绿石；崮山组，其岩性主要以黄绿色页岩为主，夹有紫色页岩、薄层石灰岩等；炒米店组，其岩性主要以中厚层微晶、豹斑灰岩、薄层灰岩为主；三山子组，上部岩性为中厚层含燧石结核及条带白云岩夹角砾状白云岩，中部为灰黄色微晶白云岩与竹叶状白云岩互层为主，下部岩性以中厚层白云岩、豹斑状白云岩为主。

（2）奥陶系：马家沟组，其岩性由石灰岩与泥灰岩和泥质灰岩相间排列而成，共6层。

（3）第四系：分布有大站组、黄河组、临沂组。大站组、黄河组岩性主要为粉质黏土，粉细砂、砂砾石层，黏土次之；临沂组岩性主要为黏土质粉砂、含砂中粗砂。

1.2　构造

据区域地质资料分析[1]，工作区在大地构造上属华北地块（Ⅰ）、鲁西地块（Ⅱ）、鲁中隆起区（Ⅲ）、泰山-沂山隆起（Ⅳ）、泰山凸起（Ⅴ）的西翼。区内地层呈单斜构造，倾向NW，倾角5°～8°，局部10°～15°。主要断裂构造有：

（1）肥城-平阴弧形断裂：长约15 km，走向近NE，倾角70°～80°，正断层，为高角度张扭性断裂，垂直断距南部150～200 m，北部200～300 m，在其附近发育数条NE向的次级构造。

（2）西凤凰庄-青龙山断裂：长约6.5 km，走向

收稿日期：2010-05-25；修订日期：2010-07-01；编辑：陶卫卫

作者简介：宋希利（1963—），男，山东济阳人，高级工程师，主要从事地球物理勘探与技术管理工作；E-mail：jn-sxl@163.com。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

NW,倾角65°,逆断层。

(3)南官庄-洪口断裂:长约6.5 km,走向近NW,倾角65°,正断层。

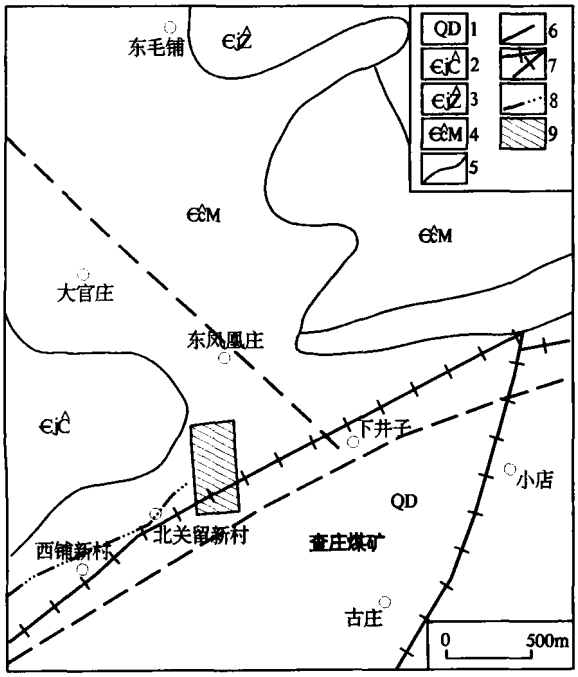


图1　工作区范围与区域地质略图

1—第四纪大站组;2—寒武纪炒米店组;3—寒武纪张夏组;4—寒武纪馒头组;5—地质界线;6—断层;7—煤矿界线;8—肥城西铺地裂缝位置;9—物探工作区范围

2　工作技术方法

近几年,可控源音频大地电磁法(CSAMT)方法理论和仪器设备都得到了很大的发展,广泛应用在勘探石油、天然气、地热、金属矿产、水文、环境及地质灾害调查等方面,从而成为地质学家高度重视的一种地球物理勘探新方法。

2.1　工作原理

可控源音频大地电磁法是利用接地水平电偶源为信号源的一种频率域电磁测深法,该方法是为了克服天然场源的随机性和信号弱的缺点而在20世纪80年代末兴起的一种电磁测深新技术[2-5],它基于电磁波传播理论和麦克斯韦方程导出了水平电偶极源在地面上的电场及磁场公式:

$$E_x = \frac{Id_{AB}\rho_1}{2\pi R^3}(3\cos^2\theta - 2) \quad (1)$$

$$E_y = \frac{3Id_{AB}\rho_1}{4\pi R^3}\sin^2\theta \quad (2)$$

$$E_z = (i-1)\frac{Id_{AB}\rho_1}{2\pi R^2}\sqrt{\frac{2\rho_1}{\mu_0\omega}}\cos\theta \quad (3)$$

$$H_x = -(i+1)\frac{Id_{AB}}{4\pi R^3}\sqrt{\frac{2\rho_1}{\mu_0\omega}}\cos\theta\cdot\sin\theta \quad (4)$$

$$H_y = (i+1))\frac{Id_{AB}}{4\pi R^3}\sqrt{\frac{2\rho_1}{\mu_0\omega}}3(\cos^2\theta - 2) \quad (5)$$

$$H_z = I\frac{3Id_{AB}\rho_1}{2\pi\mu_0\omega R^4}\sin\theta \quad (6)$$

式中:I为供电电流强度;d_{AB}为供电偶极长度;R为场源到接收点之间的距离,即收发距;μ_0为自由空间磁导率。

将(1)式沿x方向的电场(E_x)与(5)式沿y方向的磁场(H_y)相比,并经过一些简单的运算,就可以得到地下的视电阻率(ρ_ω)的公式:

$$\rho_\omega = \frac{1}{5f}\left[\frac{E_x}{H_y}\right]^2 \quad (7)$$

式中:f为频率;ρ_ω为电阻率,又称为卡尼亚电阻,是由法国物理学家卡尼亚推导提出的。

又根据电磁波的传播理论,导出有效传播深度公式$d\approx 356\sqrt{\rho_\omega/f}$。式中,$d$代表有效探测深度;$\rho_\omega$代表电阻率;$f$为频率。可见,当地表电阻率固定时,电磁波的传播深度(或探测深度)与频率成反比,高频时探测深度浅,低频时探测深度深。因此可以通过调整供电频率的高低,得到不同深度的地电信息,从而达到垂向频率测深的目的,根据所测视电阻率变化规律,了解地下地质体的产状和特征,分析推断构造接触带空间分布等。

2.2　使用仪器

工作中使用的仪器为加拿大凤凰地球物理有限公司研制开发的最新一代V8-6R多功能电法系统,是目前国内外使用的最先进的电磁勘探设备之一。

2.3　工作布置与技术参数选择

2.3.1　测线与测点布设

基本垂直于地表裂缝布置3条近SN向的CSAMT剖面线即1,2,3线,各剖面线的位置及各测点均用手持GPS布设,剖面位置见图2的物探工作布置与推断成果平面图。1剖面布置18个测点,剖面长度为900 m;2剖面布置18个测点,剖面长度为900 m;3剖面布置18个测点,剖面长度为900 m。

2.3.2　技术参数选择

在CSAMT野外工作中,采用赤道偶极测量装

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

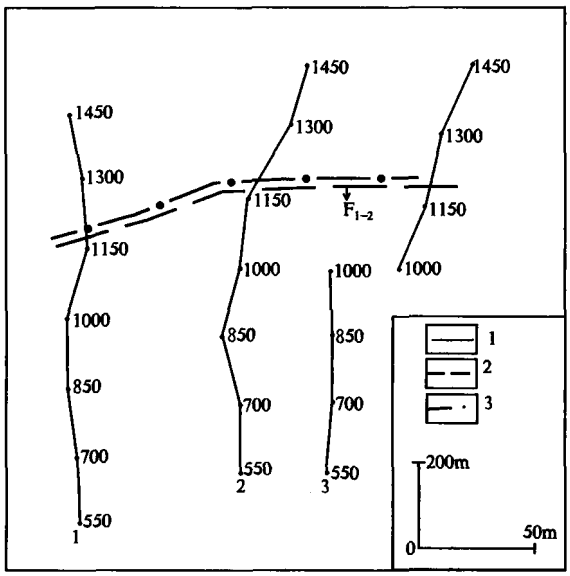


图2　物探工作布置与推断成量平面图

1—CSAMT剖面线;2—物探推断断层;3—地面裂缝位置

置,一般观测区域布置在以发射偶极 *AB* 形成的60°角的一个梯形面积内,此次野外工作采取把测线布置在以 *AB* 为边的矩形面积内,以保证测量区域有足够大的信号强度。发射电偶极距 *AB* = 1 200 m,接受电偶极距 *MN* = 50 m,收发距 *R* = 6 000 m,点距50 m,测量频率范围为0.5 ~ 9 600 Hz。

3　资料推断解释

3.1　断层的异常特征

因断裂构造的类型及性质不同,其电性异常的反映特征也不尽相同,在视电阻率等值线断面上常见的异常形态有:

(1)"V","U"型:在同一种岩性的岩石中或不同岩性的岩石,其电阻率接近的地层中有断层存在且上下盘断距不大时,由于岩石破碎或充水使电阻率降低,相同深度上的视电阻率等值线会出现局部下降或一定范围内同步下移,在断面图上即可出现"V"或"U"型异常。

(2)"梯级带"或"陡坎"、"斜坡"型:有2种情况均可出现此种形态,其一是在同一种岩性的岩石中或不同岩性的岩石其电阻率接近时,当有断层存在且上下盘断距较大而引起同一深度的地层电阻率有一定差异时,其二是断层两侧地层岩性不同且电阻率存在较大差异时,在相同深度上的视电阻率等值线会出现明显的差异,即高阻岩石一侧等值线密集且数值高,低阻岩石一侧等值线稀疏且数值低,在2种岩石的接触面即断层接触带上等值线即可出现"梯级带"或"陡坎"、"斜坡"状异常。

3.2　资料的推断解释

工作区均为第四纪大站组的粉质黏土、粉细砂、砂砾石层及黏土所覆盖,附近出露的地层为寒武纪炒米店组的中厚层微晶、豹斑灰岩、薄层灰岩。大站组的粉质黏土、黏土电阻率低,一般15 ~ 25 Ω·m,粉细砂、砂砾石层电阻率较高,一般25 ~ 50 Ω·m;二叠、石炭纪的砂岩、页岩电阻率一般20 ~ 200 Ω·m;寒武纪炒米店组的中厚层微晶、豹斑灰岩、薄层灰岩电阻率较高,一般200 ~ 5 000 Ω·m。由以上电性特征可知,不同岩性间存在较大的电性差异,当有断层存在时,会出现上述断层异常特征。

3.2.1　CSAMT二维反演视电阻率拟断面图特征分析

工作区CSAMT物1,2,3剖面上二维反演视电阻率拟断面图具有共同的特征,以物2线为例具体分析如下:图3为物2线综合剖面图,由图3(a)即二维反演视电阻率拟断面可以看出,地面1 175 m处是一明显的电性异常分界线,且随深度增大异常更加明显,深度大于200 m时,等值线出现明显的"陡坎"状,575 ~ 980 m间等值线稀疏、数值低25 ~ 500 Ω·m,980 ~ 1 400 m间等值线密集、数值高100 ~ 5 000 Ω·m。结合地质情况推测,延伸至地面1 175m的电性异常分界线对应的是断层(编号为F_{1-2})接触面的反映,断层倾角陡,上下盘断距较大且岩性不同,断层下盘基岩为寒武纪炒米店组中厚层微晶灰岩、豹斑灰岩、薄层灰岩,断层上盘基岩应为二叠、石炭纪的砂岩、页岩及薄层灰岩。

3.2.2　断层特征与地裂缝成因分析

物1,2,3剖面上1 175 m处的连线为断层F_{1-2}的走向,由工作区西侧向东F_{1-2}的走向由NE转为近EW,推测对应倾向为SE变为S,倾角较陡,F_{1-2}平面位置见图2物探工作布置与推断成果平面图。通过对断层F_{1-2}的产状与地面裂缝出现的位置进行对比分析认为,发生在东凤凰村农田内的地裂缝与断裂构造有直接关系,地裂缝位于断层F_{1-2}的北侧且两者走向完全一致,推测它是由于断层F_{1-2}上盘下移致使地面相对下降而引起的地面裂缝现象。引起断层F_{1-2}上盘下移的原因有多种,如过量开采地下水、矿山地下采空及各类地面塌陷等。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

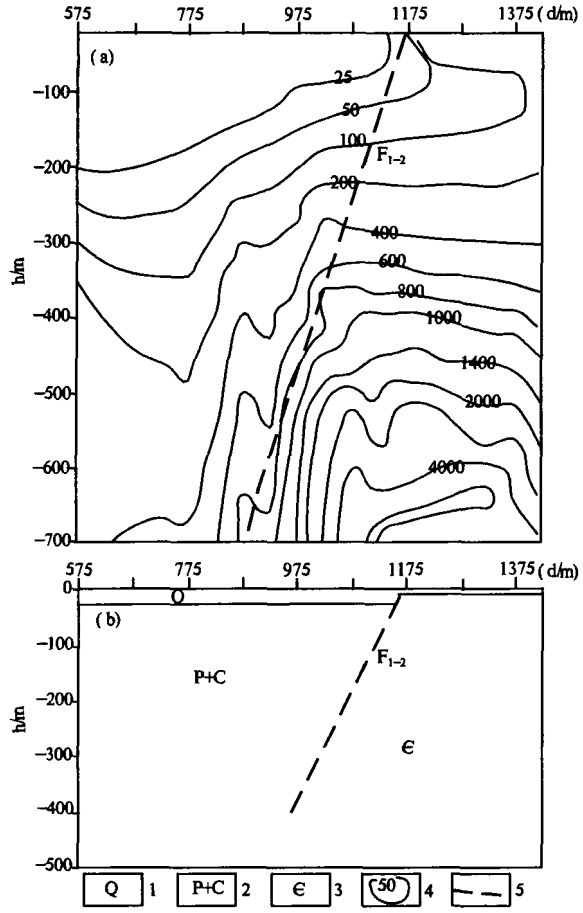


图3　工作区范围与区域地质略图

(a)CSAMT二维反演电阻率断面;(b)推断地质剖面

1—第四系;2—二叠+石炭系;3—寒武系;4—视电阻率等值线;5—物探推断断层

4　结语

(1)可控源音频大地电磁法施工方便,勘探深度大,分辨率高,对电阻率的变化反映灵敏[2-3],不仅能够推测断裂构造或破碎带,而且能够电性分层,圈定低阻区等。在地形起伏较大的工作区或山区等不易于开展常规物探方法的地段较适合开展此工作。

(2)通过该项目的地裂缝调查工作证明,使用可控源音频大地电磁法成本低、效率高、成果可靠。据野外实地调查和验证,该项目中推断的断层及分析的地裂缝成因是符合事实和可信的。此方法在地质灾害调查等工程物探领域有着广阔的应用前景。

(3)为跟踪地面裂缝发展趋势和避免其给人们的生命财产造成危害,建议在F_{1-2}断层与地面裂缝一定范围内建立地面高程长期观测点,进行沉降观测,分析其变化规律,并根据观测结果为有关部门对地裂缝的防护和治理提供依据。

参考文献:

[1] 山东省第四地质矿产勘查院. 山东省区域地质[M]. 济南:山东省地图出版社,2003.

[2] 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.

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

[4] 黄力军,陆桂福,刘瑞德. 可控源音频大地电磁测深法应用实例[J]. 物探化探计算技术,2006,28(4):337-341.

[5] 雷达,孟小红,王书民,等. 复杂地形条件下的可控源音频大地电磁测深数据二维反演技术及应用效果[J]. 物探与化探,2004,28(4):323-326.

Application Effect of Controlled Source Audio Frequency Magnetotelluric Method in Surveying Geological Hazards in Pingyin County

SONG Xili[1], PENG Yuming[1], WANG Shichang[2]

(1. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Controlled source audio magnetotelluric method has played an important role in surveying cracks of Dongfenghuang villages in Ancheng town of Pingyin county. It has an obvious geophysical anomaly. The hidden faults which have relationship with the formation of ground fissures were guessed, and the origin of the ground cracks are analyzed as well. According to field investigation and interviews, the supposed geophysical results can fit the facts well. This method can be widely used to study geological hazards in the field of engineering geophysical exploration.

Key words: Controlled source audio magnetotelluric method; geological hazard survey; cracks; Pingyin county

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net