

# 应用瞬变电磁法小线框大电流探测隐伏断层

杨农合<sup>1</sup>, 王辉<sup>2</sup>, 徐小林<sup>3</sup>, 吴朝俊<sup>4</sup>, 杨宁宁<sup>4</sup>, 王宝琛<sup>2</sup>

(1 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 2 中国煤炭地质总局 第四水文地质队, 河北 邯郸 056001; 3 陕西省地质矿产勘查开发局 西安地质矿产勘查开发院, 陕西 西安 710100; 4 西安交通大学 电气工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 瞬变电磁法小线框、大电流技术在金属矿勘探和地下水的探测中已趋成熟。在长期实践的基础上, 分析断层上方出现的感应二次场  $V_2$  负值现象和成因, 提出断层和次新断层以及地质塌陷的探测方法和数据处理的要点, 总结出利用小线框、大电流瞬变电磁法探测隐伏断层的技术方法。钻井验证表明, 该方法施工快速轻便, 断层点定位准确。

**关键词:** 瞬变电磁法; 小线框大电流; 隐伏断层; 断层探测; 金属矿勘探

**中图分类号:** P631; P319.3<sup>+</sup>2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2011)01-0080-06

隐伏断层产生的原因是切穿基岩的断层被新沉积物或土体、植被、水体等的覆盖, 或者断层面没有切穿至地表形成盲断层。在盆地或平原地区的断层, 由于沉积作用, 断层成隐伏形态, 其特征不明显, 不易通过陡崖、破碎带等特征发现。因此, 隐伏断层的调查十分困难, 无法通过观察特征确定断层的有无和精确位置。当有地质活动发生时, 会引起断层的地面错动, 产生地面变形, 从而使跨断层修建或建于其邻近的建筑物受到损害, 因此准确探测和确定活断层带位置及其宽度尤为重要。

目前对隐伏断层的探测方法, 一是采用开挖探槽, 提取跨断层的沉积, 判断是否被断层错断及其错动幅度和错动时间间隔; 二是地球化学方法, 检测断层气体, 如汞异常、岩层氦气射气扩散射气异常等, 但随着城市建设和人为改造的加剧, 探测的原始土层受到扰动, 导致干扰因素增多; 三是物探方法, 目前通常采用的是人工浅层地震技术和高密度电法勘探, 由于人工浅层地震要求一定的施工条件, 高密度电法勘探易受人文电气干扰, 因而限制了对隐伏断层的探测。

小线框、大电流的瞬变电磁法技术具有抗干扰能力强、横向分辨率高、工作方便等特点, 经过多年的实验研究及工程地质勘察实践, 认为该技术是探测隐伏断层较为方便、快捷的一种手段, 尤其是可将以前认为是仪器故障或测点无效“负的响应值”的现象, 作为判断断层出露位置的特征之一。

## 1 隐伏断层的地球物理特征

断层的总体特征在空间是以带角度的板状体(薄板)向下延深。由断层的特性决定该板状体(薄板)的电阻率高低, 新的和次新的活动断层电阻率值较低, 古老断层因其裂隙的胶结程度强, 电阻率值表现为高, 同时, 电阻率与断层的破碎带宽度、破碎程度, 断层地下水的富集程度以及有无其他岩脉侵入也有关, 因此断层两侧围岩的电阻率会出现差异。正是断层的这个地球物理特征, 为采用瞬变电磁法小线框、大电流技术探测隐伏断层提供了基础。

## 2 探测隐伏断层的方法技术

### 2.1 瞬变电磁法小线框大电流的装置

在应用瞬变电磁法勘探时, 可根据工区特点使用不同装置。瞬变电磁法小线框、大电流装置采用重叠回线装置方式, 发射线框边长 3 m, 面积为 9 m<sup>2</sup>, 发射电流为 400~1 400 A, 接收线框边长 3 m, 多匝。通过减小线圈面积, 加大发射电流, 提高了横向分辨率和接收信噪比。瞬变电磁法小线框、大电流装置的特点是: 装置体积小, 施工方便, 工作效率高, 异常定位精确, 抗干扰能力强。

### 2.2 断层的表现

通过小线框装置发射大电流磁场, 在装置包含的面积下, 磁场向地下垂直传播, 当磁场穿过水平地层或无断层的地质体时, 传播不发生改变。在发射

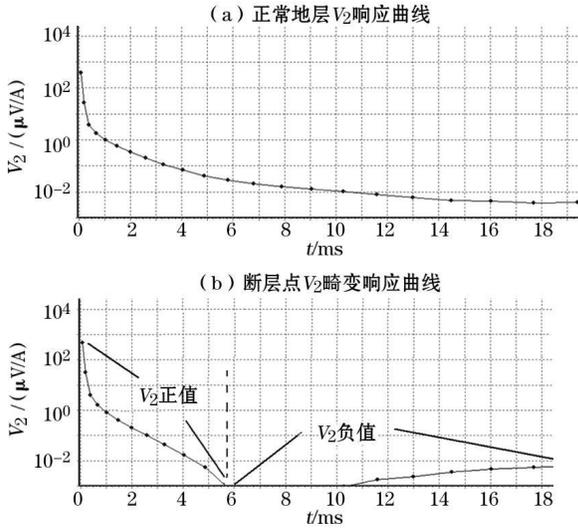


图 1 瞬变电磁法探测断层机理

结束后,接收感应二次场  $V_2$  为正极性的衰减曲线(图 1a),通过  $V_2$  得到该面积下不同深度的用层厚和电阻率来描述的对应用于各地层的岩性或地质体的特性。

当重叠回线接收装置出现在隐伏断层上方时,当向下垂直发射的强磁场遇到隐伏断层时,传播可能会发生一些改变。当发射结束后,在  $9\text{ m}^2$  接收线框内接收到的  $V_2$  发生了改变,即  $V_2$  产生极性为负的感应电压,其表现特征已经不是正极性的衰减曲线形态,而是出现带有负值畸变的曲线(图 1b),变形程度和幅度与断层有关。这个现象过程应多次重复观测,其表现形式不变,确定非观测和仪器故障引起,由此可以判断隐伏断层解理面的位置在边长  $3\text{ m}$  的  $9\text{ m}^2$  接收线框内。这是瞬变电磁法小线框、大电流装置下隐伏断层出现的物理现象。利用这个现象,通过对接收的感应二次场  $V_2$  的简单判别,可以达到探测隐伏断层的走向和出露位置的目的。

对于小线框、大电流装置在断层上方出现的感应二次场为负值的现象,可能是由于断层两侧的高阻围岩与断层的表现形式为带倾角的导电薄板的地球物理特征引起的。这种机理符合文献 [ 1, 2 ] 中的“集流的负瞬变电磁响应:高阻岩层地区,有时在晚期测道观测到负响应,它往往与具有相当规模的倾斜导电岩层出露有关。”。由于采用小线框、大电流,使得过去在常规装置、 $40\text{ A}$  电流下不易出现的集流负瞬变电磁响应表现得极为明显。

上述现象在第四系覆盖层较薄的地区尤为明显,笔者在山西柳林(发射电流  $400\text{ A}$ 、 $1\ 200\text{ A}$ )、北京门头沟(发射电流  $560\text{ A}$ )、江西井冈山(发射电流  $1\ 400\text{ A}$ )、河南泌阳(发射电流  $1\ 400\text{ A}$ )、江苏苏州(发射电流  $460\text{ A}$ 、 $1\ 200\text{ A}$ )等地的探测中,均发现与此地质现象对应的曲线特征,并且在贵州都匀、贵阳(EMRS3型电磁勘探仪,发射电流  $1\ 400\text{ A}$ )的断层面上得到验证(图 2)。

经过多年大量的现场实验和对比分析,得出探测隐伏断层的方法:

- (1)采用重叠回线边长  $3\text{ m}$  装置,发射电流要足够大;
- (2)在第四系覆盖层较薄(或者高阻围岩)的地区,只要发生  $V_2$  响应曲线产生负值畸变的测点,便可确定为断层点;
- (3)在第四系覆盖层较厚(几十米到几百米)的地区,电阻率较低,集流的负瞬变电磁响应已蜕化为带硬拐点高阻表现曲线形式,因此确定断层位置需要对多测道剖面进行倾斜导电薄板特征分析。

### 2.3 探测方法和数据处理的重点

在工程勘察中,断层和塌陷是探测的重要目标,

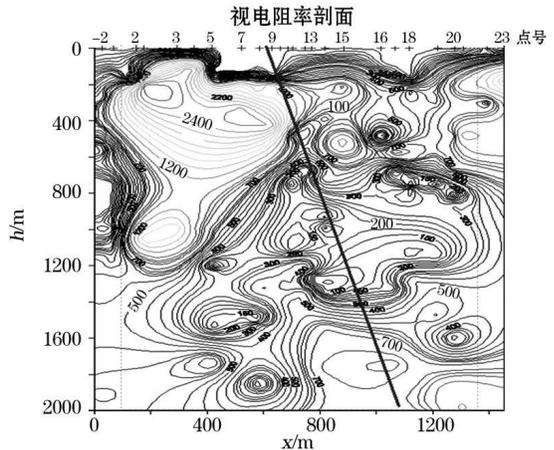
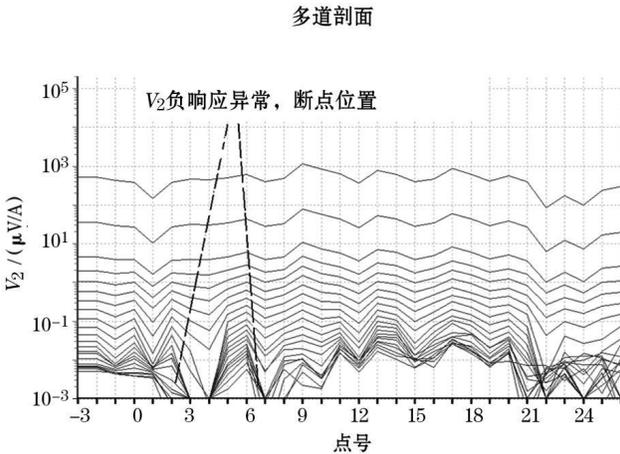


图 2 瞬变电磁法在贵阳探测断层

合理的设置测线和测量点距是非常重要的,当使用这种小线框大电流的装置时,更要引起注意,否则会将异常漏掉。首先要尽可能详细地了解测区的已有地质资料 and 前人所做工作,并对现场踏勘;垂直目标可能出现的走向布设测线,测点间距要保证异常不被漏掉,测线间距要保证在异常走向上至少有 2 条以上测线的穿越;测点号以米数标记为好,这样可随时根据异常情况进行测点加密而不会引起点号混乱,同时为以后数据处理成图做好准备;当遇到异常出现时,要及时调整测线和测点,必要时可增加跨越异常的短测线,增加的短测线必须从包含 3 个正常点的位置开始,在跨越异常后的 3 个正常点位置结束,以此来保证测线数据的可比性和解释程度。

在测量过程中,遇到断层特征 ( $V_2$  响应曲线产生负值畸变)时,记录该点坐标(画断层走向图用);移动测点,使得  $V_2$  响应曲线正常,也记录该点坐标。在数据处理时将该点加入测线,取代畸变点计算视电阻率和一维反演,同时在多测道剖面分析时可以加入或替换畸变点,观察双峰异常和单峰异常的变化情况,在分析断层倾角时应按倾斜导电薄板特征分析,计算出近似的倾角。

根据  $V_2$  响应曲线产生负值畸变点坐标画出断层的走向平面图,定出大致走向。图 3 是 2009 年在河南泌阳某矿区勘探时 (EMRS3 型电磁勘探仪,发射电流 1 400 A) 根据上述方法和要点推出的断裂走向,此矿属于热液沿断裂面成型的构造成因,已经钻探验证。

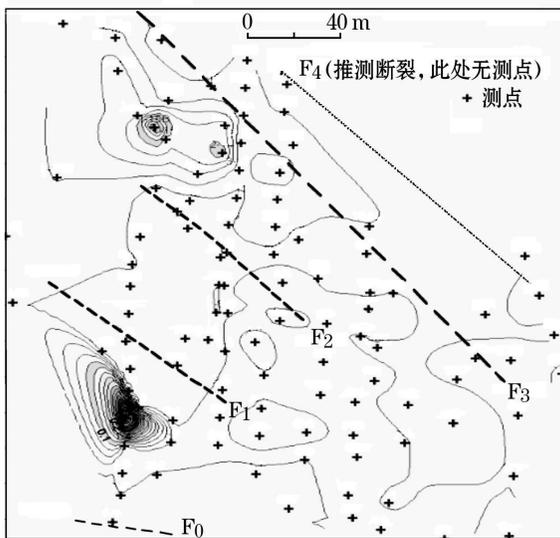


图 3 河南某矿区断裂走向示意

### 2.4 新断层、次新断层、地质塌陷的探测要点

新断层和次新断层由较近时期的地质构造运动或人工开采地下矿藏后放顶或塌陷造成,这些塌陷

和由此引起的小断裂处于较新的状态,其裂隙通常由地表的降水或地下水携带富离子状态的物质填充。在运用瞬变电磁法小线框、大电流的装置探测时,一些地区由于表层第四系厚度较大(例如表层为红土)呈现低阻,且断裂和塌陷被充水时,整体表现为低阻状态,不会出现负瞬变电磁响应特点。图 4 是 2009 年在山西晋城某工地的例子 (EMRS3 型电磁勘探仪,发射电流 1 200 A),该工地表层为厚度 50 m 的褐红色黏土层,依次为泥岩、砂岩和灰岩。在所画钻孔位置 90 m 处发生掉钻,呈现采空。在 520 点出现断层,两侧岩性不一致。

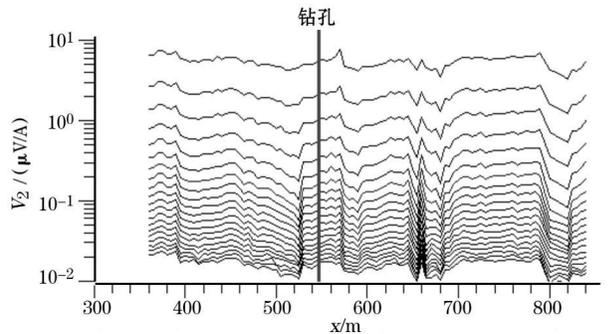


图 4 山西晋城某工地断层的多道剖面

### 3 勘探实例

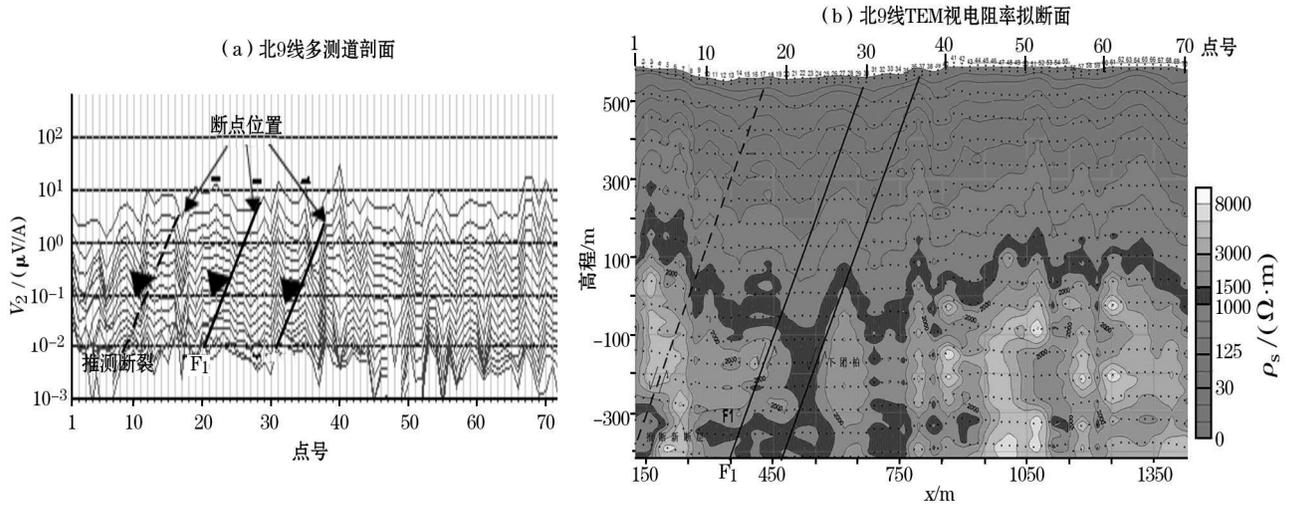
2008 年,王辉在山西霍州使用 EMRS2 型瞬变电磁勘探仪、1 200 A 电流,成功探测了 3 条隐伏断层(图 5)。该工区属于太古界、元古界和下古生界的寒武系和奥陶系地层,第四系覆盖层厚度在几十米左右。共布 28 条测线剖面对 3 个断层控制,其中一个断层用 14 条剖面控制。在断层右侧 100 m 是煤系地层,在北 9 线 18 号点、38 号点各布一个勘探孔,在 18 号点见到了  $F_1$  断层,整个工区通过 3 对井验证了  $F_1$  断层。

图 6~图 9 分别为笔者在 2008 年做的探测实例。

图 6 为江西井冈山地区探测隐伏断层的实例,使用 EMRS3 型电磁勘探仪,发射电流 1 400 A。

在北京门头沟地区进行采空区探测(图 7),异常位置与探地雷达和浅层地震的探测结果一致 (EMES-1 型电磁工程勘查仪,电流 560 A)。

图 8 为苏州某地地质塌陷边界探测的结果,野外使用 EMES-1 型电磁工程勘查仪,电流 560 A。在塌陷地段虽然地面已经出现积水,但是由于断裂很新,使得发射磁场沿断裂面扭曲扩散,多测道和视电阻率均呈现为高阻态,这种状况应该引起充分注意,避免判断错误。



a-多测道剖面; b-视电阻率剖面  
图 5 山西霍州瞬变电磁法探测断层剖面

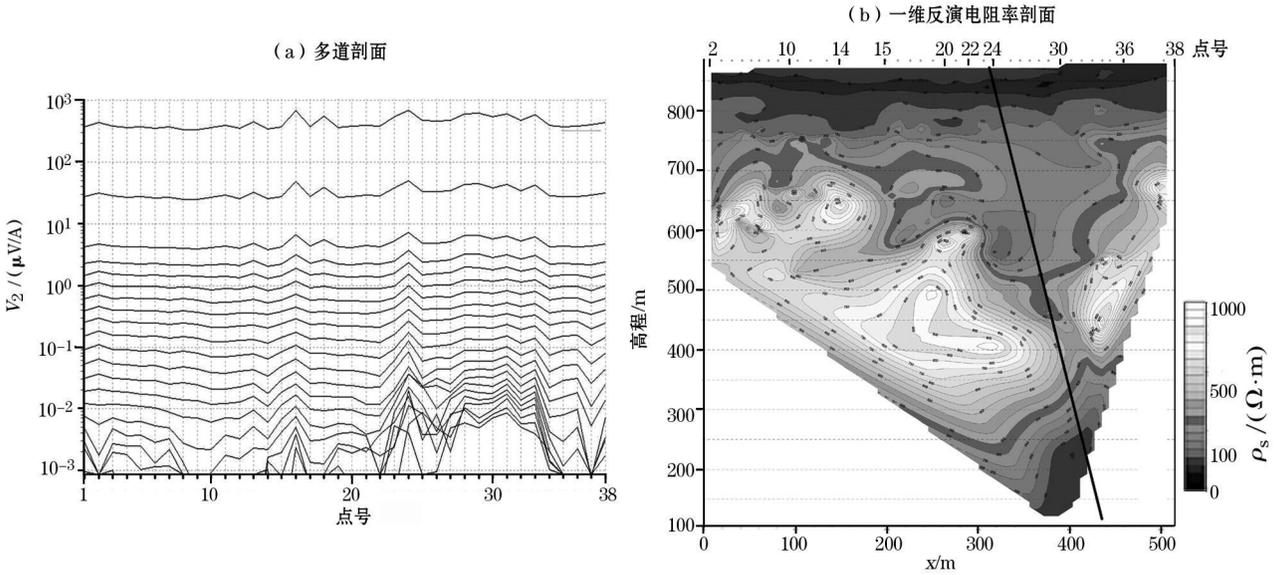


图 6 江西井冈山瞬变电磁法探测隐伏断层

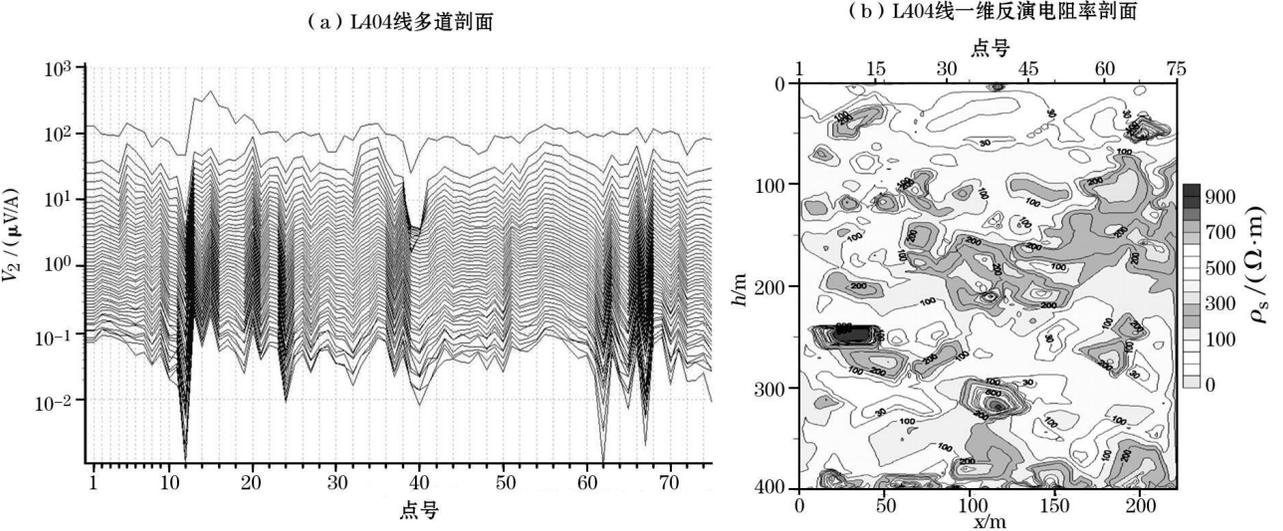


图 7 北京门头沟瞬变电磁法探测采空区

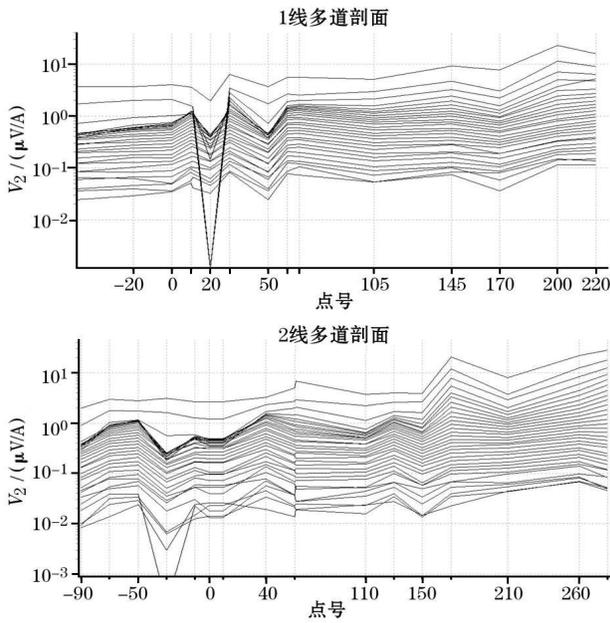


图 8 苏州某地瞬变电磁法探测地质塌陷

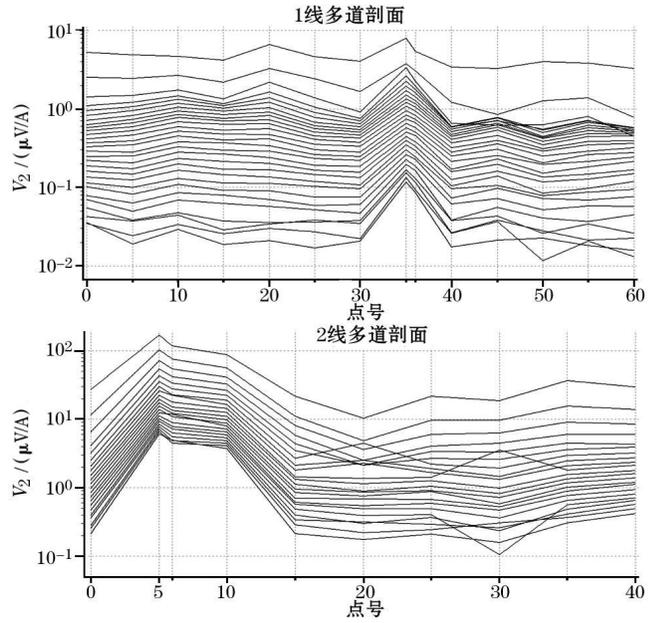


图 9 广东某地瞬变电磁法探测岩溶实验

图 9 为广东某地的岩溶探测实验, 在 2 个已知孔位上做比对实验, 岩溶表现为明显的低阻特性 (EMES-1 型电磁工程勘查仪, 电流 560 A)。

### 4 结论

经过多年的工程地质勘察实践和实验研究, 总结出小线框、大电流的瞬变电磁法探测隐伏断层的技术方法和判定要点, 为工程勘察、地质灾害调查, 提供了一个更为简便、准确的技术手段, 以弥补其他物探方法的所受到的环境限制。

小线框大电流的瞬变电磁法对较大类型的隐伏断层探测特点是抗干扰能力强、横向分辨率高、对环境无损且限制性小、工作方便、快捷经济、解释判定速度快。

需要注意的是, 探测中必须根据测区的地质情况对可能存在的隐伏断层的结构 (断层特性种类) 和与其对应的电性结构形式加深认识, 在资料处理过程中要排除其他因素引起的异常, 合理建立模型, 通过多种方法处理, 找出共同异常, 判定隐伏断层断点位置, 同时要和其他方法的探测结果综合解释, 推断隐伏断层的性质和特点。

### 参考文献:

- [1] 牛之琏. 时间域电磁法原理 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 1992 63.
- [2] 蒋邦远. 实用近区磁源瞬变电磁法勘探 [M]. 北京: 地质出版社, 1998 46.
- [3] 吴子泉, 尹成. 电阻率横向剖面法及其在隐伏断层探测中的应用研究 [J]. 地球物理学报, 2007, 50 (2).
- [4] 金东淳, 崔天日. 物探方法在探测隐伏断层中的应用 [J]. 世界地质, 2003(11).
- [5] 年廷凯, 谭周地, 李广杰, 等. 上海市隐伏断层及活动性研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000 11(4).
- [6] 柴焯章, 孟广魁, 杜鹏, 等. 隐伏活动断层的多层次综合探测——以银川隐伏活动断层为例 [J]. 地震地质, 2006 28(4).
- [7] 王爱国, 马巍, 张向红, 等. 隐伏断层电性特征及浅层电法探测 [J]. 西北地震学报, 2006, 28 (3).
- [8] 李志祥, 毛先进, 韩明, 等. 高密度电阻率法在隐伏断层探测中的应用 [J]. 地震研究, 2003 (13).
- [9] 姚道平, 卓群, 张芝峰, 等. 厦门城市隐伏断层控制性地球化学探测 [J]. 震灾防御技术, 2008 3(4).
- [10] 龚巧玉. 北京北苑居住区第四系断层走向勘察 [J]. 地质与勘探, 1999 35(4).
- [11] 常旭, 李林新, 刘伊克, 等. 北京断陷黄庄—高丽营断层伪随机可控震源地震剖面 [J]. 地球物理学报, 2008 51(5).
- [12] 陈宇坤, 郑彦鹤, 高武平, 等. 声学探测技术在天津隐伏断层探测中的应用 [J]. 震灾防御技术, 2007 2(2).

## THE APPLICATION OF THE HIGH-CURRENT AND SMALL COIL TRANSIENT ELECTROMAGNETIC METHOD (TEM) TO THE DETECTION OF CONCEALED FAULTS

YANG Nong-he<sup>1</sup>, WANG Hu<sup>2</sup>, XU Xiao-li<sup>3</sup>, WU Chao-jun<sup>4</sup>, YANG Ning-ning<sup>4</sup>, WANG Bao-chen<sup>2</sup>

(1 Xidian University of Technology, Xi'an 710048 China; 2 National Hydrogeological Party, China National Administration of Coal Geology, Haidan 056001, China; 3 Xidian Institute of Geology for Mineral Development, Xi'an 710100 China; 4 School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract** The transient electromagnetic method (TEM) using the high-current and small coil is a mature technology in the prospecting for metallic ore deposits and groundwater. Based on many years' experimental studies, the authors analyzed the causes of negative value  $V_2$  (Induction of secondary field) at the top of the fault and put forward the exploration and data processing means for faults, new faults and geological collapses. This paper summarizes the method of TEM for determining concealed active faults (CAF). Drilling has demonstrated that this method is convenient in accurate determination of CAF.

**Key words** transient electromagnetic method (TEM); high-current and small coil; concealed active fault (CAF); detecting fault; exploration of metallic ore deposits

作者简介: 杨农合 (1955-), 男, 高级工程师, 1978年毕业于长春地质学院勘探仪器专业, 长期从事瞬变电磁法勘探仪器、勘探方法及数据处理工作。

• 简讯 •

### 2010中国国际矿业大会高新地勘仪器设备精彩纷呈

11月16~18日,在天津梅江会展中心举办了2010(十二届)中国国际矿业大会上,国外高科技地勘仪器设备层出不穷,精彩纷呈,备受与会地矿单位领导和专家的关注。

其中,北京咏归科技有限公司展出的三款国外高新地勘仪器设备,更是引起了人们的极大兴趣。

世界上最轻便的取样钻机——美国绍尔 SHAW 单人背包式浅层取样(岩芯)钻机,3m标配仅重18kg,操作灵活,高效耐用,可代替槽探、坑探取样,减少植被破坏,保护环境。单人可以背负到野外进行勘探取样,彻底解决了复杂地形,如丛林、高山等,不能修路,大型笨重钻机不能去现场深入的问题。

南非 RBI公司非炸药岩石(安全)破碎器——采用非炸药原理,能够快速安全地对岩石等进行分离破碎。是矿山二次破碎的革命性产品,是爆破技术的全新突破;是一种有着接近爆炸的巨大能量又非常安全的最新岩石破碎技术。在国家对炸药的应用异常严格管制的当今,这款产品,对很多矿山来说,是一款雪中送炭的高科技产品。

美国法如 FARO 大空间三维激光扫描仪——对几何测量来说是一场革命,是数字化矿山的顶级硬件设备。该仪器最大扫描距离153m,25m处精度为2mm,是目前世界上同类产品最轻便,扫描速度最快的三维激光扫描仪。有了这款设备,可以把整个矿上的地上地下部分的三维数据和图像(清晰度是数码相机的1200倍)放入电脑,也可以随时在电脑上查询矿上任何部分的距离、面积、体积,真正做到身在家中,现场办公。

相信今后更多的国外高新设备会对我们的地勘和矿业事业提供极大的帮助。

(王胜利供稿)