

利用对称四极横向剖面法探测走滑断层的应用^{*}

吴子泉¹⁾ 王成虎²⁾ 谭捍东³⁾ 冯 锐⁴⁾ 程久龙⁵⁾

1) 中国济南 250014 山东省地震工程研究院

2) 中国北京 100085 中国地震局地壳应力研究所

3) 中国北京 100083 中国地质大学

4) 中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所

5) 中国青岛 266510 山东科技大学

摘要 从走滑断层难以探测的实际出发, 讨论了其物性特征; 通过对低阻板模型的物理模拟、数值模拟以及对实地观测资料的分析, 研究了对称四极纵、横向剖面法视电阻率曲线的变化特征和差异. 结果表明, 横向剖面法相对纵向剖面法异常幅度明显增加, 可对地震活动断层进行更为有效的探测和定位. 这一研究为走滑断层探测提供了新的思路. 同时, 利用对称四极横向剖面法可以解决走滑断层难以探测这一技术难题.

关键词 走滑断层 对称四极横向剖面法 物理模拟 数值模拟 应用实例

中图分类号: P319 **文献标识码**: A

引言

城市地震活动断层探测是有效减轻地震灾害的一项工作. 该工作的主要研究对象为城市市区及近郊地区. 由于大中城市往往位于盆地与平原地区, 城市下的活动断层大多是被第四纪松散沉积物覆盖的隐伏活动断层, 同时城市中存在着地下电缆、金属管线等工业和民用电磁干扰以及机械震动等形成的强震动干扰等, 而这些给地震活动断层探测及精确定位带来了很大的困难. 活动断层的定位是城市抗震规划、防震减灾的前提. 如何对地震活动断层进行精确定位是城市地震活动断层探测的关键环节. 它关系到活动断层的性质、活动方式、速率、古地震事件序列及强震复发间隔等的再研究, 因此研究城市地震活动断层的精确定位方法非常重要(邓起东等, 2003).

用于城市断层探测的方法包括: 高密度电法、高分辨率地震勘探、地质雷达、微重力测量、高精度磁测及放射性气体探测等. 野外大量探测资料表明, 对于上下盘有较大落差的断层, 高分辨率地震勘探、电阻率层析成像等方法都取得了很好的效果. 对于两盘落差很小、两盘岩石电性差异较大的断层, 电阻率层析成像技术效果明显. 随着城市地震活动断层探测工作的深入, 断层的存在和探测结果的差异性日益突出, 解决两盘基本无落差的走滑断层的精确定位问题, 已成为城市活动断层探测工作中的一个重要课题. 断层是岩石

^{*} 山东省“十五”重点资助项目《城市活动断层探测》(SD1501)资助.
2005-02-01 收到初稿, 2005-07-08 收到修改稿, 2005-09-19 决定采用.

受应力作用的结果,岩石在应力作用过程中,表现出了明显的电阻率各向异性(陈峰等,2000;毛桐恩等,1999).因此认为,断层带附近电阻率存在着明显的各向异性.根据这一特点,提出了利用对称四极横向剖面法对走滑断层进行精确定位的方法.为对比纵、横向剖面法得到的地电阻率异常差异,作者进行了物理模拟实验和数值模拟.研究表明,对相同目标体采用对称四极装置,在横向剖面上得到的视电阻率异常比在纵向剖面上得到的异常显著.因此,利用横向剖面法可以比较好地解决走滑断层探测和定位问题.

1 走滑断层的物理模型及纵、横向剖面法的定义

走滑断裂,有时也叫横推断层(物理模型如图1所示),是指断层两盘产生水平错动.断层的形成过程中多伴生雁列构造.走滑断层的物性特征主要表现为:一是两盘几乎没有落差;二是两盘岩性差异很小;三是由于断层带处破碎及伴生雁列构造的形成,断层带与断层两盘出现明显的电性差异,沿着断层走向呈现明显的低电阻率特征.

由上述走滑断层的物性特征可以看出,浅层地震方法在走滑断层勘探中,将失去它的优势,电法勘探则存在着可能.

本文将重点研究利用直流电阻率法对断层水平定位的问题.通常情况下,直流电阻率剖面法是垂直于断层走向布置剖面,供电、测量电极组成的排列平行于剖面方向布置,整个工作装置沿剖面方向逐点观测.我们把这样的排列和观测方式称之为纵向剖面法.但是由于走滑断层一般产状较陡或近于直立,且断裂带相对两侧的地层一般为良导体.这一特点决定了纵向剖面法的观测结果异常幅度一般较小,不利于发现走滑断层和对其定位.为此,我们提出横向剖面法的概念,它与纵向剖面法一样,布置剖面垂直于断层走向,整个工作装置沿剖面方向逐点观测,但工作装置的供电、测量电极组成的排列是垂直剖面方向布置的(图1).

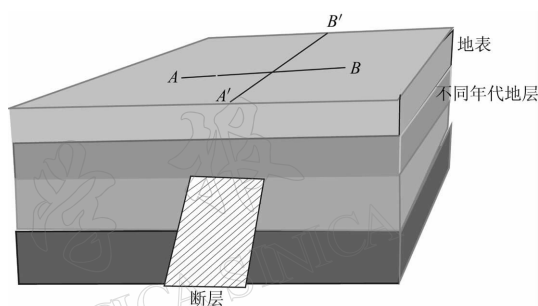


图1 走滑断层物理模型及剖面布置示意图

AB为纵向剖面轴线,A'B'为横向剖面轴线

为了研究和对比纵、横向剖面法视电阻率曲线的特点和差异,以利于在断层探测中应用,我们采用了对称四极装置,对建立的电阻率模型分别进行了物理模拟和数值模拟.下面对其结果分别进行介绍.

2 纵、横向剖面物理模拟实验

2.1 物理实验模型

本次实验水槽为 $4\text{ m}\times 3\text{ m}\times 1.2\text{ m}$.考虑到边界条件问题,作者选取中心点为原点,范围为距离中心点 0.5 m ;异常体选用铁板,几何尺寸为 $30\text{ cm}\times 10\text{ cm}\times 2.5\text{ cm}$,铁板产状直立.实验供电极距 $AB=35\text{ cm}, 55\text{ cm}, 75\text{ cm}$;测量极距 $MN=5\text{ cm}$.实验前用砂纸将铁板表面铁锈擦去,实验装置采用对称四极装置.铁板埋深 3 cm .实验结果如图2~4所示.

2.2 电阻率变化关系研究

由图 2 可以看出,数据虽有一定的波动,但总体看波动范围很小,因此可以认为数据是可靠的.通过分析不同极距视电阻率曲线的形态特征可以看出,当测点远离异常体时,纵、横向剖面法的视电阻率值基本相同;当测点逐渐靠近异常体时,曲线开始分离,同时在异常体上方出现最低异常点.但 3 种极距横向剖面法的视电阻率峰值都明显低于纵向剖面法;极距越小,差异越大;随着极距的增大,差异逐渐变小.

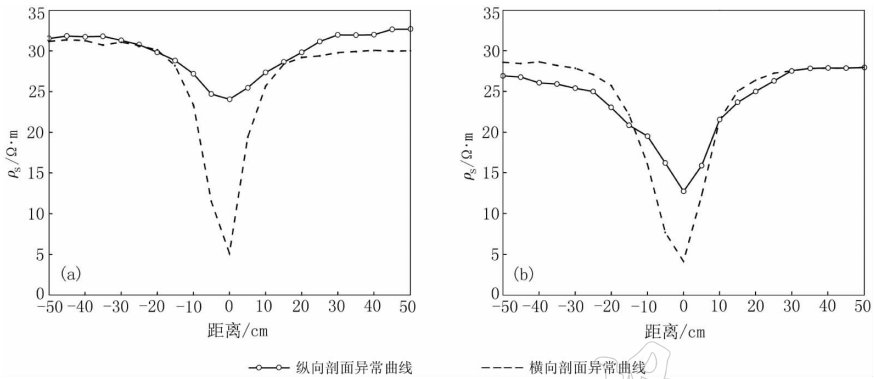


图 2 不同极距纵、横剖面电阻率变化
(a) $AB=35\text{ cm}$, $MN=5\text{ cm}$; (b) $AB=55\text{ cm}$, $MN=5\text{ cm}$

由图 3, 4 可以看出,横向剖面法视电阻率变化基本不随极距变化而变化;纵向剖面法视电阻率因极距的不同而变化明显,随着极距的增大低视电阻率峰值逐渐明显.

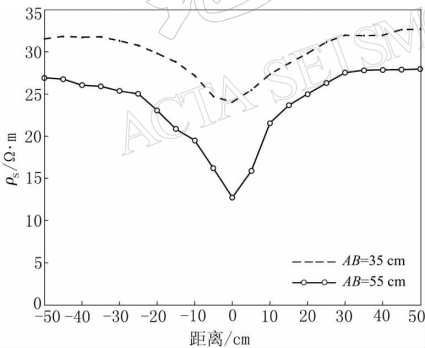


图 3 不同极距纵向剖面电阻率变化曲线

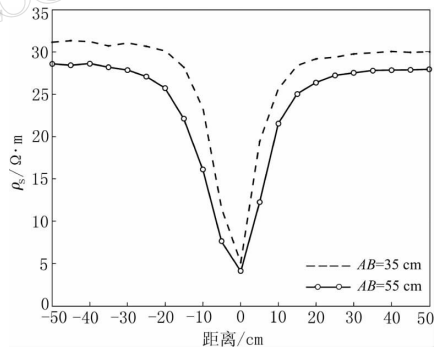


图 4 不同极距横向剖面电阻率变化曲线

由此可以看出,在正常的野外施工中,横向剖面法较纵向剖面法有非常大的优越性.因为同样的极距,横向剖面法异常显著,纵向剖面法要得到与横向剖面法相同幅度的异常,就要增大供电极距,这无疑要给现场工作带来很大的困难.

3 电阻率模型三维有限元法数值模拟

3.1 数值模拟模型的建立

为研究走滑断层纵、横向剖面法的视电阻率变化,建立了电阻率模型.其具体参数见图 5 所示.其中第四系厚度为 60 m,电阻率为 $40\text{ }\Omega\cdot\text{m}$;断层宽度 30 m,电阻率为 20

$\Omega \cdot \text{m}$ ；基岩的电阻率为 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 。

3.2 数值模拟结果分析

为研究纵、横向剖面法在走滑断层中的应用，分别计算了 $AB=300 \text{ m}$ 、 $MN=100 \text{ m}$ ， $AB=300 \text{ m}$ 、 $MN=50 \text{ m}$ ， $AB=300 \text{ m}$ 、 $MN=10 \text{ m}$ 等 3 种极距下纵、横向剖面法的视电阻率曲线(图 6)。其变化的形态特征基本一致。

由图 6 可以看出，相同极距模拟结果，横向剖面法比纵向剖面法视电阻率异常明显得多。对比数值模拟和物理模拟可以看出，数值模拟与物理模拟实验的结果完全相同，但就异常幅度而言，横向剖面要远大于纵向剖面。

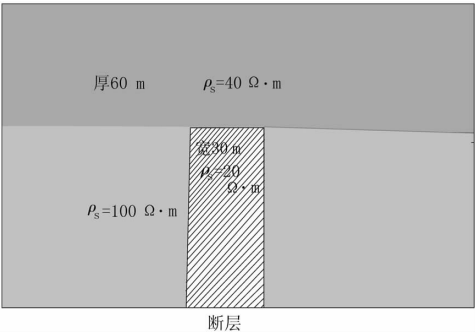


图 5 电阻率三维数值模拟断层低电阻率参数模型

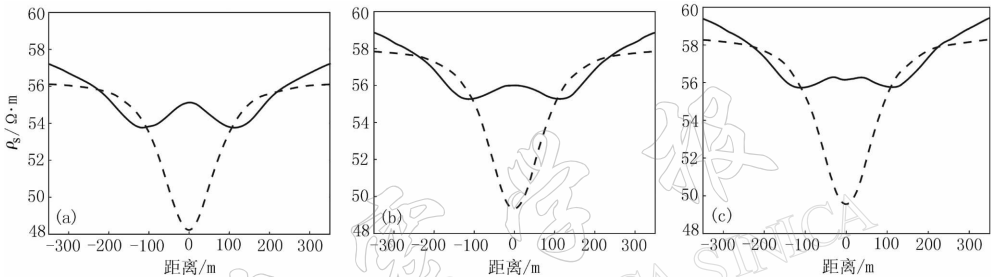


图 6 相同极距纵、横向剖面法数值模拟结果对比
(—— 纵向剖面异常曲线；--- 横向剖面异常曲线)

(a) $AB=300 \text{ m}$ ， $MN=100 \text{ m}$ ；(b) $AB=300 \text{ m}$ ， $MN=50 \text{ m}$ ；(c) $AB=300 \text{ m}$ ， $MN=10 \text{ m}$

4 实例分析

为验证纵、横向剖面法在实际工程检测中的应用，根据淄博市活动断层三维探测结果，对纵、横向剖面测试数据进行了提取。现场测线布置及验证钻孔如图7所示。现场检

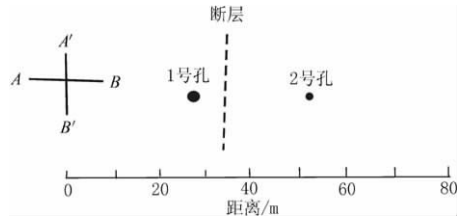


图 7 现场测试剖面及钻孔布置图
(断层为张店—仁河断裂)
 AB 为纵向剖面轴线， $A'B'$ 为横向剖面轴线

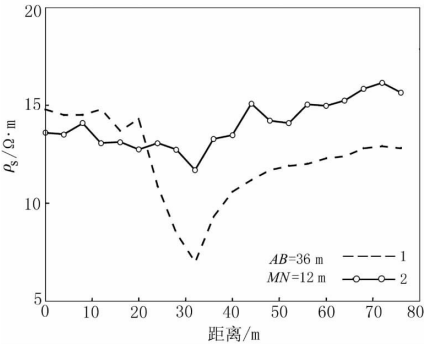


图 8 纵、横向剖面法电阻率实测曲线
1 为纵向剖面异常曲线；
2 为横向剖面异常曲线

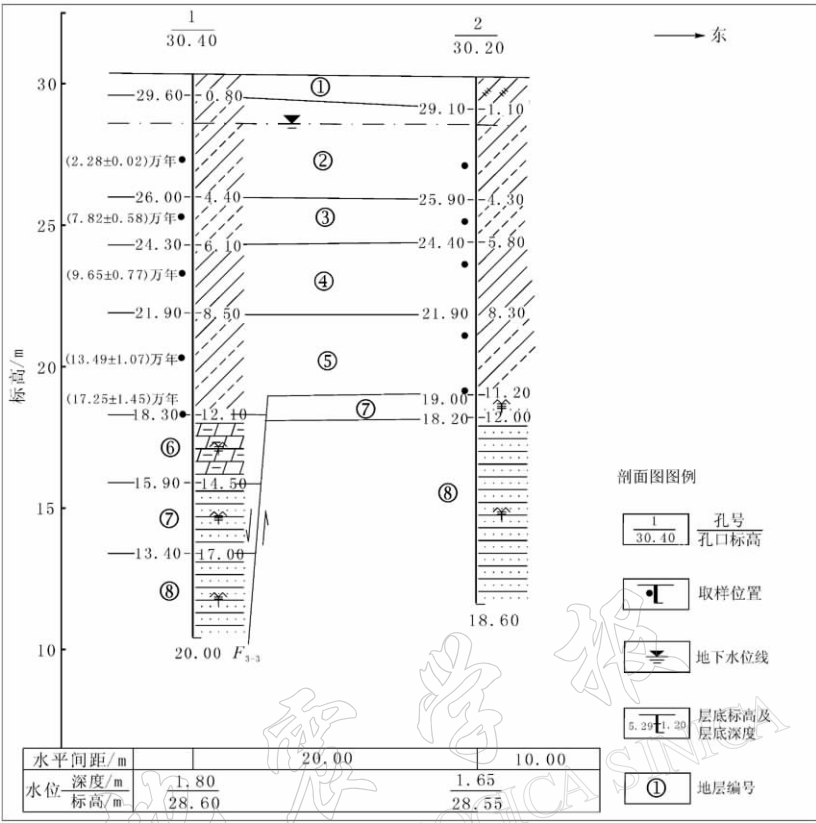


图 9 剖面 D 地质柱状图(引自山东省地震地质工程勘察公司, 2000 年淄博城市活动断层预研究报告)
① 杂填土; ②, ⑤ 粉质粘土; ③ 粉土; ④ 粘土; ⑥ 强风化泥岩; ⑦ 强风化砂岩; ⑧ 中风化砂岩

测 $AB=36\text{ m}$ 、 $MN=12\text{ m}$, 测点间的距离为 4 m . 实测曲线如图 8 所示. 由图 8 可以看出, 两剖面均在 32 m 位置出现最大异常. 由于检测日期不同, 农田是水浇地, 因此使得纵、横向剖面法视电阻率背景值不完全相同. 但从异常的幅度看, 横向剖面法异常幅度明显大于纵向剖面法. 横向剖面法呈现出了明显的优越性.

根据以上的检测结果, 确定了钻孔位置进行钻孔验证. 检验结果发现, 钻孔 2 的地层上抬, 钻孔 1 的地层下落, 且风化强烈(图 9). 因此, 证实了上述剖面结果揭示中部因断层作用而造成的风化严重的低阻异常是真实的.

5 结论

通过对上述物理模拟、数值模拟结果和实测资料的分析, 可以得出如下结论:

- 1) 在走滑断层探测中, 横向剖面电阻率的勘探深度较纵向剖面大, 即探明相同埋深的断层, 横向剖面采用的供电极距要比纵向剖面小.
- 2) 使用横向剖面, 对走滑断层的异常反映显著, 对断层的定位也更准确.

参 考 文 献

陈峰, 修济刚, 安金珍, 等. 2000. 岩石电阻率变化各向异性与微裂隙扩展方位实验研究[J]. 地震学报, 22(3): 310~

318

邓起东, 徐锡伟, 张先康, 等. 2003. 城市活动断裂的探测方法和技术[J]. 地学前缘, 10(1): 93~104

毛桐恩, 胥广银, 范思源, 等. 1999. 地电阻率各向异性度的动态演化图象与地震孕育过程[J]. 地震学报, 21(2): 180~186

APPLICATION OF SCHLUMBERGER TRANSVERSE PROFILING METHOD TO DETECTING A STRIKE FAULT

Wu Ziquan¹⁾ Wang Chenghu²⁾ Tan Handong³⁾ Feng Rui⁴⁾ Cheng Jiulong⁵⁾

1) Earthquake Engineering Institute of Shandong Province, Ji'nan 250014, China

2) Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China

3) China University of Geosciences, Beijing 100083, China

4) Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

5) Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China

Abstract: Because it is difficult to detect a strike fault, its physical properties are discussed in this paper. Using physical simulation, numerical modeling and the data *in situ*, the differences between the apparent resistivity of low resistivity model obtained by Schlumberger transverse profiling method (STPM) whose electrode array is vertical to the profile and those by longitudinal profiling method (LPM) whose electrode array is parallel to the profile are analyzed, respectively. Our results show that the former has much marked amplitudes of anomaly. Therefore, STPM can be used to detect a strike fault more effectively and locate it more precisely, and is expected to be a new approach for detecting a strike fault.

Key words: strike fault, Schlumberger transverse profiling method; physical simulation; numerical modeling; application example