

# 纵向与横向剖面电阻率变化关系物理模拟实验研究<sup>\*</sup>

吴子泉<sup>1</sup> 程久龙<sup>2</sup> 李 文<sup>2</sup> 王成虎<sup>3</sup>

(1. 山东省地震工程研究院, 济南 250014; 2. 山东科技大学资源与环境工程学院, 山东青岛 266510;

3. 中国地质大学工程技术学院, 北京 100083)

**摘要:** 通过低阻立板的物理模拟实验, 研究纵、横向剖面电阻率的变化特征, 实验结果表明横向剖面法在探测走滑断层中具有明显优越性。

**关键词:** 走滑断层; 纵、横向剖面; 物理模拟; 物性特征

**中图分类号:** P315.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 0666 - (2005) 03 - 0248 - 04

## 0 前言

城市地震活动断层探测是近几年兴起的一项重要工作, 该工作主要针对城市市区及近郊地区。由于大中城市往往位于盆地或平原地区, 城市地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。由于城市中存在着城市电缆、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, 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研究的关键环节, 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。

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, 高分辨率地震勘探方法取得了很好的效果。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。但是, 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, 急需解决是两盘基本无落差的走滑断层精确定位问题。为论证上述问题, 作者根据走滑断层的物性差异, 提出利用电阻

率横向剖面法对其进行精确定位。作者通过物理模拟实验对比纵、横向剖面的差异性, 结果表明: 相同异常体横向剖面电阻率异常比纵向剖面电阻率异常显著。从而说明横向剖面用于走滑断层探测效果要比纵向剖面显著。

## 1 走滑断层的物性特征及纵、横向剖面的定义

走滑断层, 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。其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, 使得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性特征。

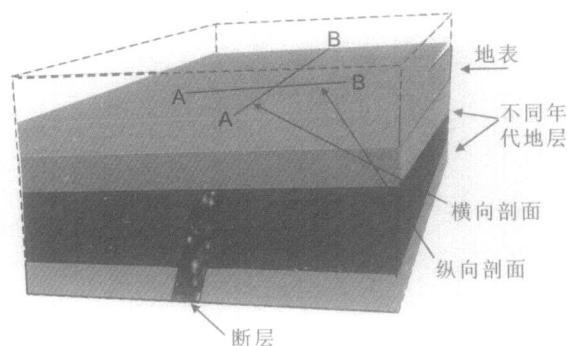


图1 走滑断层物理模型及剖面示意图

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2004 - 12 - 22

基金项目: 山东省“十五”重点项目——“潍坊城市活动断层探测”资助 (SD1501)。

作者简介: 吴子泉 (1963 ~), 男, 山东人, 高级工程师, 中国地质大学在读博士, 主要从事工程场址的地震安全性评价工作。

由上述走滑断层的物性特征可以看出，浅层地震勘探方法在走滑断层勘探中将失去优势，而电法勘探由于自身的局限，对断层的垂向准确定位难以实现<sup>[1]</sup>，本文将重点研究该方法的水平定位问题。通常情况下，电法勘探多垂直于断层走向布设剖面，且装置的轴线方向也平行于剖面方向，但通过大量的勘探实验发现，探测走滑断层的应用效果较差。但断层带与断层两盘存在明显的电性差异，断层带的电性差异成了走滑断层精确定位的因素。

纵、横向剖面的定义。现有的电法勘探，以电极排列形式分类有很多，如对称四极、联合剖面、偶极等，但归纳起来有一个共同特点：直流电阻率剖面法是垂直于断层走向布设剖面，供电、测量电极组成的排列平行于剖面方向布设，整个工作装置沿剖面方向逐点观测；为了区别横向剖面本文将这些常规剖面定义为纵向剖面。电阻率横向剖面法的工作装置的供电电极和测量电极位于同一直线，该直线垂直于剖面走向，沿剖面方向逐点探测，记录不同测点的视电阻率值。由图 1 可以看出，纵向剖面在断层探测时相当于文献 [2] 中直立低阻板的情况，横向剖面则相当于水平低阻板的情况。文献 [2] 对直立低阻板难以探测，做出了论述，符合当前断层探测的实际，同时明确提出直立低阻水平板的异常是可以探测的，但横向剖面与水平低阻板略有差异。为研究纵、横向剖面电阻率的变化关系，以利于在断层探测中应用，笔者利用水槽进行了物理模拟实验。

2 物理模拟实验结果研究

2.1 物理实验模型及结果

本次实验水槽尺寸为：4 m ×3 m ×1.2 m，考虑到边界条件问题，选取中心点为原点，工作区为距离中心点 0.5 m 范围，异常体选用铁板，几何尺寸为：30 cm ×10 cm ×2.5 cm，实验供电极距 AB =35, 55, 75 cm，测量极距 MN =5 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，实验结果如表 1。

由表 1 可以看出，纵、横向剖面数据峰值点位置相同，大小有较大差异。为了研究其内在的变化规律，作者将其绘制成图 2, 3, 4。

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

体上波动范围很小，因此可以认为数据是可靠的。分析不同极距电阻率的形态特征可以看出，当测点远离异常体时纵、横向剖面的电阻率基本相同，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，但三种极距横向剖面的电阻率峰值都明显低于纵向剖面，极距越小，差异越大；随着极距的增大，差异逐渐变小。

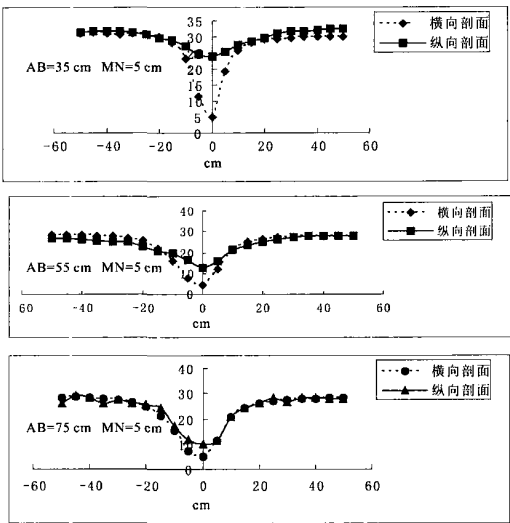


图2 不同装置纵、横向剖面电阻率变化

表 1 纵、横向剖面实验数据表

异常体位	AB = 35 cm	MN = 5 cm	AB = 55 cm	MN = 5 cm	AB = 75 cm	MN = 5 cm
置 / cm	横向剖面	纵向剖面	横向剖面	纵向剖面	横向剖面	纵向剖面
- 50	31.16	31.56	28.57	26.91	28.46	25.99
- 45	31.33	31.81	28.43	26.77	28.57	29.34
- 40	31.23	31.72	28.61	26.04	28.38	28.1
- 35	30.73	31.77	28.18	25.88	27.94	26.29
- 30	31.04	31.28	27.86	25.4	27.53	27.61
- 25	30.68	30.77	27.09	24.98	26.43	26.12
- 20	30.1	29.8	25.71	23.04	24.77	25.83
- 15	28.2	28.84	22.14	20.86	21.02	24.17
- 10	23.32	27.17	16.11	19.5	15.25	17.06
- 5	11.54	24.72	7.67	16.22	7.36	11.8
0	5.14	24.02	4.12	12.73	5.14	9.86
5	19.42	25.47	12.26	15.9	11.36	11.4
10	25.66	27.35	21.49	21.54	20.69	20.7
15	28.38	28.61	25.05	23.67	24.49	24.21
20	29.2	29.82	26.4	25	26	26.08
25	29.4	31.16	27.22	26.29	27.16	28.23
30	29.78	31.96	27.54	27.09	27.59	26.69
35	29.91	31.91	27.51	27.8	27.93	28.22
40	30.04	31.98	27.84	27.34	28.03	28.52
45	29.98	32.63	27.87	27.47	28.13	27.68
50	29.99	32.67	27.96	27.66	28.23	28.04

由图 3、图 4 可以看出，横向剖面电阻率基本不随极距变化而变化，纵向剖面电阻率因极距的不

同而产生明显变化,随着极距的增大,低电阻率峰值逐渐明显。

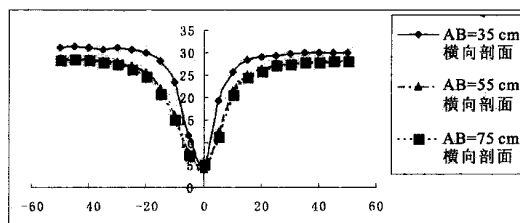


图3 不同极距横向剖面电阻率变化曲线

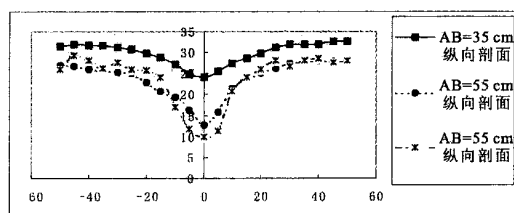


图4 不同极距纵向剖面电阻率变化曲线

由此可以看出,野外施工中,横向剖面比纵向剖面更有优越性,在同样的观测极距下,横向剖面观测异常显著。纵向剖面要想得到与横向剖面幅度相同的异常,就要增大供电极距,这无疑会给现场工作带来很大的困难,同时也使得资料解释复杂化。

### 3 纵、横向剖面异常变化的物理解释

#### 3.1 半无限岩层各向异性电位的分布

将点电源置于各向异性半无限岩层的地面,并以它为坐标原点,用简单加倍的方法代替地面的影响,则电位的表达式为

$$U = \frac{mI}{2} \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \quad (1)$$

为了方便,将  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标系保持原点不动,绕  $Y$  轴反时针方向旋转  $\phi$  角,  $\phi$  角为层理面与地面的夹角,新坐标系用  $x$ 、 $y$ 、 $z$  表示,新旧坐标系的关系为:  $X = x \cos \phi + z \sin \phi$ ,  $Y = y$ ,  $Z = -x \sin \phi + z \cos \phi$ 。将其代入 (1) 整理后得

$$U = \frac{mI}{2} \frac{1}{\sqrt{Ax^2 + y^2 + Bz^2 - 2Cxz}} \quad (2)$$

式中,  $A = 1 + (\epsilon^2 - 1) \sin^2 \phi$ ,  $B = 1 + (\epsilon^2 - 1) \cos^2 \phi$ ,  $C = (\epsilon^2 - 1) \sin \phi \cos \phi$ ,  $\epsilon = \frac{\rho_z}{\rho_x}$ ,  $m =$

$\sqrt{\frac{\rho_z}{\rho_x}}$ , 令  $Z=0$ , 则地面电位表达式

$$U = \frac{mI}{2} \frac{1}{\sqrt{Ax^2 + y^2}} \quad (3)$$

#### 3.2 岩层各向异性对电阻率的影响

由于视电阻率的观测主要是在地表进行,可将 (3) 式改成极坐标形式,令  $x = r \cos \phi$ ,  $y = r \sin \phi$ , 则

$$U = \frac{mI}{2r} \frac{1}{\sqrt{1 + (\epsilon^2 - 1) \sin^2 \phi \cos^2 \phi}} \quad (4)$$

由于  $y$  轴平行层理面走向,  $x$  轴平行层理面倾向,因而  $\phi$  为  $r$  与层理倾向间的夹角,由 (4) 式可求得  $r$  方向的电场强度

$$E_r = - \frac{\partial U}{\partial r} = \frac{mI}{2r^2} \frac{1}{\sqrt{1 + (\epsilon^2 - 1) \sin^2 \phi \cos^2 \phi}} \quad (5)$$

因而在  $r$  方向上测得的视电阻率为

$$\rho_s = 2r \frac{E_r}{I} = \frac{m}{\sqrt{1 + (\epsilon^2 - 1) \sin^2 \phi \cos^2 \phi}} \quad (6)$$

上式表明,在各向异性岩层地面所测的视电阻率,不仅与岩层的电性和产状有关,还与布极方向有关。作为走滑断层模拟实验,它的各向异性主要表现为岩层直立,沿低电性异常体走向布极时,  $\rho_s$  值接近于  $\rho_z$ , 因而呈现出明显的低电阻率特点;沿垂直断层走向布极时,  $\rho_s$  值接近于围岩的电阻率,呈现出明显的高电阻率特性。

### 4 结论

通过上述物理模拟实验及物理解释可以看出:

- (1) 对于具有低电阻率特点的走滑断层,横向剖面方法观测到的异常较纵向剖面显著。
- (2) 使用横向剖面,只要选取足够测深的极距,即可获得很好的探测效果。
- (3) 野外工作中,对于探测低电阻率走滑断层,横向剖面法较纵向剖面法优越。

#### 参考文献:

- [1] 冯锐,李智明,李志武,等.电阻率层析成像技术[J].中国地震,2004,20(1):13-30.
- [2] 傅良魁.电法勘探教程[M].北京:地质出版社,1982.

## Physical Modeling Test Study of Variation Relation of Electrical Resistance between Vertical and Cross Sections

WU Zi-quan<sup>1</sup> CHENG Jiu-long<sup>2</sup> LI Wen<sup>2</sup> WANG Cheng-hu<sup>3</sup>

(1. Earthquake Engineering Institute of Shandong Province, Jinan 250014, China)

(2. School of Resources and Environment Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266540, China)

(3. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

### Abstract

Through the physical modelling test of low-resistance upright plate, we studied the characteristics of resistance varying along longitudinal and transverse sections. The result shows that the transverse section method has obvious advantages in detecting the sliding fault.

**Key words:** sliding fault, longitudinal and transverse sections, physical modeling, physical property

www.cnki.net