

# 关于偶极法预报地震的试验研究

安福禄

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

1982年6月到12月初在宁夏海原地区进行了偶极法连续观测试验。试验共布置了2条测线5个观测点,供电电流保持在70—100安培左右,观测精度约0.5%。人工电位差脉冲观测使用改装的小型仪器车每天流动定时测量一次,每次观测20组脉冲,观测精度在3%左右。观测结果表明:在8月14日海原北2.7级地震前(测区距震中17公里)各观测点地电阻率都明显出现异常,异常幅度8—20%不等。四极对称装置浅层探测异常幅度约1.5%。11月5日距震中区约110公里同心北3.3级地震前,赤道式装置的2个观测点有明显异常,异常幅度约7—9%。本文所观测到的前兆异常可用郭增建同志提出的地震前兆优选层的理论得到解释。

## 一、前 言

1982年6月初到12月初在宁夏海原县西安州地区进行了连续观测试验。试验目的是在取得连续观测资料的基础上,研究地电阻率异常与地震活动的关系。在试验过程中改进了观测和计算方法,提高了观测精度,并观测到测区附近两次小震有较明显的异常,为该方法进一步试验研究取得了经验。

## 二、观测试验概况

### 1. 测区概况

测区位于北纬 $36^{\circ}32.5' - 36.5'$ ,东经 $105^{\circ}24.5' - 22.8'$ ,宁夏回族自治区海原县西安州公社。测区横跨在南西华山北缘大断裂之上(图1),这对用地电阻率法预测预报地震的试验研究提供了有利的构造条件。

由于测区内地表潮湿程度的差异,电阻率变化范围一般为10—200欧姆米。主要含水层组为全新统和上更新统洪积层,其成分为砂砾、砾石及中粗砂砾岩,电阻率为33—65欧姆米。作为隔水层的第四系砂质粘土与粘质砂土层,电阻率为20—30欧姆米。第三系主要为泥

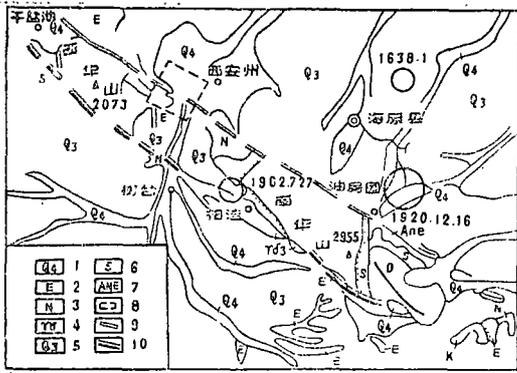


图1 测区地质构造图

Fig. 1 The geological tectonics in the test area.

1. 第四系全新统 2. 下第三系 3. 上第三系 4. 花岗岩长岩
5. 第四系上更新统 6. 志留系 7. 前寒武系 8. 测区
9. 晚近活动断裂 10. 多期活动断裂

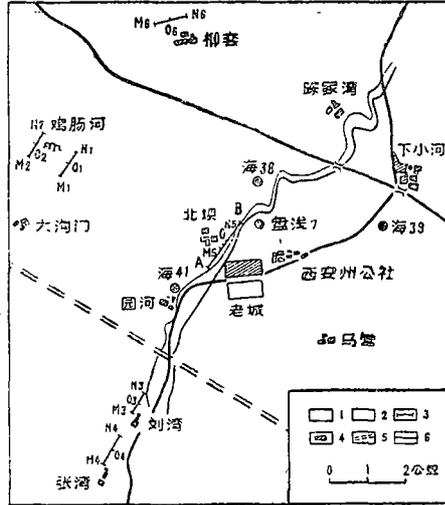


图2 试验观测布板示意图

Fig. 2 A sketch of arrangement of electrods in the test area.

1. 钻孔 2. 窑洞 3. 测点 4. 村庄 5. 断层 6. 公路

岩、砂岩，电阻率为20—30欧姆米。而第三系的含水层（疏松砂岩）电阻率也为20—30欧姆米。当地下水矿化度增高时，则含水层电阻率大大降低，一般小于20欧姆米，最低可达5欧姆米。综上所述，测区地电阻率较低。

### 2. 偶极装置的布设

根据南西华山北缘断裂北60°西的走向和地形条件布设了两条测线：一条测线沿断裂一侧布设，为赤道式装置，共两个观测点，相距1公里，测量偶极距为800米，定为1号测线。中心偶极距 $00_1$ 为4.5公里称为I号观测点，中心偶极距 $00_2$ 为5.5公里称为II号观测点。另一条测线跨越断层，因地形条件限制，只能沿沟而设成轴式装置，称为2号测线。此测线也布设两个观测点，相距1235米。中心偶极距 $00_3$ 为4635米称为III号观测点， $00_4$ 为5.9公里称为IV号测点。1号测线方向为北30°东，2号测线方向北60°西两测线夹角90°。为了与现有地电方法对比，又在供电偶极中心设了对称装置M、N称为V号观测点。8月初为试验增设方位装置，称为VI号观测点，与1号测线夹角45°（见图2）。

图2中AB为供电偶极，MN为测量偶极。根据前两年的试验结果和本区浅层电阻率较低的特点，中心偶极距都布置在6公里之内。参数详见表1。

装置系数表 表1

供电偶极	测量偶极 (单位米)	中心偶极距 (单位米)	测点代号
1500米	MN = 800	00 = 4500	I
	MN = 800	00 = 5500	II
	MN = 630	00 = 4635	III
	MN = 900	00 = 5900	IV
	MN = 50		V
	MN = 800	00 = 6000	VI

### 3. 观测方法

一个观测点每天定时观测一次。为减小大地电流场干扰，观测时间定为20时—22时。因仪器或线路等其它故障时，补测在22时—00时完成。人工电位差观测使用改装的小型仪器车定时流动测量，20时供电，同时观测II、IV、V号观测点；21时供电同时观测I、III号观测点。每次连续观测20组人工电位冲脉和电流脉冲，第二天由不同人员负

责专门计算。

观测使用Pz40型数字地电仪，LY<sub>4</sub>型数字打印机与之配套。观测时每秒采样打印一次，连续进行数字记录，直到记录完20组脉冲为止。所有仪器正式投入观测之前统一标定。

供电偶极的电源使用40千瓦柴油发电机和60千瓦柴油发电机轮换输电，经过供电仪器车整流输入地下。人工供电，正向15秒，断电5秒后，反向供电15秒，断电25秒完成一组供电，形成双脉冲供电电流。每次观测使用整流器内分流电阻引出线接到Pz40型数字地电仪输入端打印记录，电流观测精度0.3—0.4%。供电线用截面25平方毫米多股软铜橡胶电缆代替原截面18平方毫米的软铜线，降低了线路电阻，同时提高了载流量。供电电极为1.2平方米铅板6块并联成一个电极，灌食盐水，使全部接地电阻和电路电阻降到5.5Ω左右。使50安培输出的整流器在40千瓦发电机输电时可供70—75安培，使用60千瓦发电机时可供出90—100安培电流。由于超出原设计电流额定值，为避免整流器中的变压器过热，加12寸电风扇2个强行冷却，使用效果良好。

### 三、资料的计算及结果

#### 1. 地电阻率的计算

计算公式为  $\rho_s = K \cdot \Delta V / \Delta I$

##### (1) K值的计算

经计算：I号观测点  $K_1 = 502334$ ；II号观测点  $K_2 = 902321$ ；III号观测点  $K_3 = 310791$ ；IV号观测点  $K_4 = 453983$ ；V号观测点  $K_5 = 35304$ ；VI号观测点  $K_6 = 1599438$ 。

##### (2) 供电电流的计算

供电稳定后的观测值进行算术平均作为每次观测的电流值  $\overline{\Delta I}$ ；为稳定后每秒记录的电流值， $n$ 为  $I_1$  的个数。

$$\overline{\Delta I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$$

##### (3) 人工电位差的计算

根据公式  $\rho_s = K \cdot \frac{\Delta V}{\Delta I}$  可以看出，当装置固定时，装置系数为常数。由于供电电流  $\Delta I$  精度在0.5%左右，所以当需要  $\rho_s$  的观测计算误差在2%左右时， $\Delta I$  的误差忽略不计。这样直接影响  $\rho_s$  观测精度的因素就是  $\Delta V$ 。Pz40型数字地电仪没有自然电位自动补偿装置，随机变化的地电场的干扰（主要是大地电流场的干扰）是观测  $\Delta V$  的主要干扰因素。经过分析研究并经过大量的对比计算，认为用确定建场时间  $t_0$  的方法计算  $\Delta V$  是合理的，精度一般达到2—3%，基本满足了试验与预报的需要。我们测定西安州试验测区建场时间  $t_0$  约3—4秒，若将仪器的定时误差和随机干扰等造成的计算误差考虑在内，则  $t_0$  为3—5秒。计算时直接在打印记录的数字纸带计算。首先确定供电前的自然电位值  $V_{自}$ ，然后根据  $t_0$  确定建场后的人工电位值  $V$ ，即可计算出正向脉冲电位差值  $V - V_{自}$ 。同理，根据  $t_0$  确定断电后的自然电位值  $V_{自}$  和断电前的人工电位值  $V$ ，算出负向脉冲电位差值  $V - V_{自}$ 。由此减小了自然电位的干扰影响，使计算  $\Delta V$  的误差减小。

计算公式为:

$$\Delta \bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{V}_i$$

式中  $\Delta \bar{V}_i$  为单组电位差平均值,  $n$  为电位差组数。

$$\Delta \bar{V}_i = \frac{\Delta \bar{V}_{\text{正}} + \Delta \bar{V}_{\text{反}}}{2}$$

式中  $\Delta \bar{V}_{\text{正}}$  为正向供电电位差平均值,  $\Delta \bar{V}_{\text{反}}$  为反向供电电位差平均值。

$$\Delta \bar{V}_{\text{正}} = \frac{(V_1 - V_{\text{自}1}) + (V_2 - V_{\text{自}2})}{2}$$

$$\Delta \bar{V}_{\text{反}} = \frac{(V_1 - V_{\text{自}1}) + (V_2 - V_{\text{自}2})}{2}$$

式中  $V_{\text{自}1}$  为供电前自然电位值,  $V_1$  为供电后 3—5 秒人工电位值,  $V_2$  为断电前人工电位值,  $V_{\text{自}2}$  为断电后 3—5 秒自然电位值。

表 2 是 7 月 2 日 Ⅱ 号观测点 21 时 55 分到 22 时 25 分的原始打印记录数据, 开始是供电前一

表 2

7717	7789	7740	
7720	7788	7737	
7719	7787	7733	
7727	7787	7729	
7728	7786	7725	
7731	7783	7723	
7734	7783	7717	自
7737	7775	7715	然
7738	7767	7712	电
7741	7768	7709	位
7745	7766	7707	值
7750	7764	7706	
7754	7759	$V_{\text{自}1}$ 7697	
7758	7761	7620	供电第一组脉冲开始
7760	7773	7492	建场时间
7763	7771	7445	$t_0$ 正
7768	7770	$V_1$ 7425	向
7770	7769	7432	脉
7774	7771	7426	冲
7777	7769	7424	
7779	7766	7426	
7782	7765	7423	人
7783	7765	7423	工
7784	7762	7422	电
7785	7762	7423	位
7785	7757	7422	值
7787	7752	7417	
7788	7751	$V_2$ 7419	
7789	7746	7500	断电

分钟的自然电位值，其后是开始连续 4 组电位差脉冲记录，因篇幅关系略去中间 14 组脉冲数据，后是 2 组电位差脉冲数据，最后是停止工作后的自然电位值。并对第一组电位差脉冲作了说明，便于读者了解全部观测电位差脉冲过程。

表 2

	7681	7746	7440	7684	7459	7729
	7691	7746	7443	7683	7457	7730
V 自 <sub>2</sub>	7692	7749	7445	7685	7457	7732
V 自 <sub>1</sub>	7694	7751	7448	7686	7453	7733
反向脉冲	7759	7756	7449	7684	7451	7735
供 电	7890	7758	7450	7687	7518	7736
t <sub>s</sub>	7946	7763	7709	7689	7717	7742
V <sub>1</sub>	7962	7765	7730	7692	7726	7745
	7965	7764	7734	7696	7726	7747
	7955	7765	7734	7702	7723	7750
	7967	7762	7732	7703	7723	7751
	7959	7761	7731	7706	7794	7752
	7968	7758	7789	7710	7926	7753
	7966	7756	7905	7714	7980	7755
V <sub>2</sub>	7969	7747	7987	7719	8000	7754
	7783	7675	8006	7723	7995	7753
	7704	7537	7997	7723	8002	7754
	7702	7483	8005	7728	7998	7752
V 自 <sub>2</sub>	7703	7457	8001	7720	8001	7751
	7704	7457	7999	7639	8005	7739
	7708	7452	7996	7498	8004	7657
自然电位	7712	7448	7995	7472	8006	7513
	7716	7447	7991	7456	7799	7475
	7720	7445	7988	7472	7729	7452
	7722	7447	7799	7456	7726	7454
	7728	7445	7706	7460	7726	7443
	7732	7441	7696	7456	7724	7439
	7737	7436	7691	7458	7725	7435
	7741	7439	7688	7457	7727	7433

电位差计算后，单组  $V_i$  值大于 2 倍均方差  $\sigma$  时，应予剔除后重新计算  $\Delta \bar{V}$ 。

在计算 I、II、III、IV 号观测点的  $\rho_i$  值时， $\Delta \bar{V}$  的误差一般在 2—3%，而  $\Delta \bar{I}$  的误差一般在 0.5% 以内，所以  $\Delta \bar{I}$  的观测误差忽略不计，把  $\Delta \bar{V}$  的误差近似作为  $\rho_i$  的误差。在计算 V 号观测点时， $\rho_i$  误差在 0.5% 左右，所以计算时还需把  $\Delta \bar{I}$  的误差计算在内。计算公式是：

$$\delta \rho_i = \sqrt{(\delta_v)^2 + (\delta_I)^2}$$

式中  $\delta_v$  为  $\Delta \bar{V}$  的误差， $\delta_I$  为  $\Delta \bar{I}$  的误差。

## 2. 观测资料结果与分析

所使用的观测资料从 7 月 1 日到 11 月 20 日。根据  $\rho_i$  计算结果绘制  $\rho_i$  5 日滑动值图 (图 3)。图中曲线 V、III、IV、I、II 按观测点由浅至深排列。观测期间于 8 月 14 日在海原北发生  $M_s \geq 2.7$  级地震，测区距震中 17 公里，海原县及测区驻地有感。11 月 5 日同心北发生

表 2

7431	7754	7512	7762	7471	7800	7793
7428	7760	7507	7762	7422	7800	7794
7429	7766	7503	7763	7471	7799	7795
7427	7770	7497	7763	7470	7799	7795
7644	7774	7497	7764	7474	7799	7794
7705	7780	7496	7766	7474	7796	7793
7712	7783	7494	7766	7478	7795	7793
7714	7787	7493	7766	7481	7793	7793
7745	7790	7571	7770	7692	7791	7790
7841	7792	7763	7768	7762	7789	7791
7972	7795	7776	7773	7770	7788	7787
7998	7795	7778	7771	7772	7785	7786
8003	7794	7784	7771	7772	7786	7785
8004	7791	7858	7772	7810	7785	7783
8000	略去	7997	7773	7908	7788	7780
8003	中间	8042	7775	8038	7787	7780
8003	14组	8063	7777	8056	7790	7780
8004	组脉冲	8058	7775	8069	7789	7779
8005	数据	8064	7773	8069	7786	7777
8005		8063	7772	8071	7788	7779
7762		8061	7771	8076	7789	7780
7728	7797	8059	7772	8077	7790	7782
7727	7797	8059	7770	8079	7790	7786
7729	7796	8058	7761	8079	7791	7787
7733	7795	8055	7686	8079	7792	7787
7736	7790	7869	7548	7888	7793	7789
7742	7746	7776	7500	7808	7793	7790
7745	7549	7768	7476	7798	7793	7793
7749	7528	7764	7478	——	7793	7797

自然电位

M<sub>s</sub>3.3级地震, 测区距震中110公里。从图3中可看到在这两次地震前 $\rho$ 均有明显异常变化。异常变化特征详见表3、表4。

表 3

观测点	观测误差	异常幅度	异常时间
V	0.5%	1.6%	7月30—8月5日
II	2%	9%	7月20—8月2日
IV	4%	20%	7月18—8月8日
I	2%	8%	7月20—8月2日
II	8%	13%	7月18—8月10日

表 4

观测点	观测误差	异常幅度	异常时间
V	0.5%		
II	2%	8%	
IV	4%		
I	2%	9%	10月21日—28日
II	8%	7%	10月20日—29日

从图3及表4中看出海原2.7级地震前由浅至深, 不同深度的五个观测点的地电阻率都有大于误差3倍以上的异常变化。而偶极法观测的I、II、III、IV号观测点的 $\rho$ 异常幅度达8—20%, 而四极对称装置(探测浅层约几百米)的V号观测点异常幅度约1.5%, 同时大致看出深部地电阻率异常比浅部提前10天左右, 这一异常特征与前兆优选层[2]的推断相符。

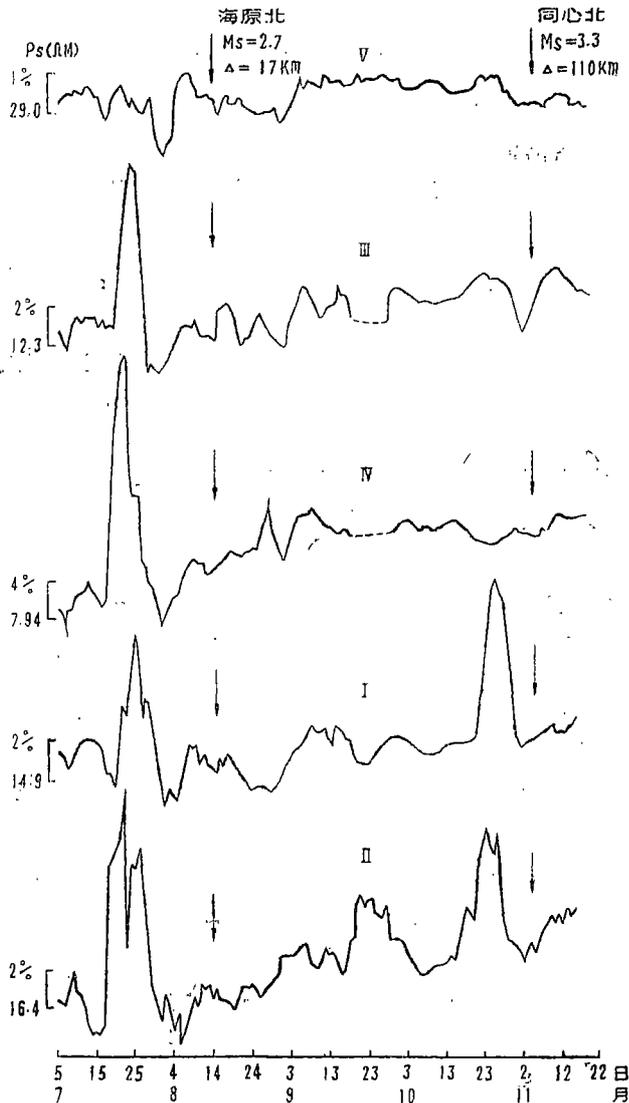


图3 ρ, 5日滑动值

Fig. 3 The curves of 5-day-running average.

从图3及表4中可以看到同心北3.3级地震前, 1号测线的I、II号观测点ρ, 有明显异常反映, 而2号测线的III号观测点只有3%的微量变化, 至于IV号观测点和V号观测点变化都在观测误差范围内, 即无前兆异常。原因可能是: IV观测点恰好在断层的破碎带上, 由于断层带的作用使IV号观测点ρ, 对较远地震没有明显异常反映。V号观测点探测深度仅有几百米比I、II号观测点浅得多, 自然也不会有明显反映。III号观测点比I、II号观测点探测深度浅, 所以异常变化亦小得多震前只出现微量变化。还可能是震前应力场的作用方向使不同方向测线的地电阻率变化量不同。垂直于力源的测线上的测点ρ, 异常量大, 平行于力源的测线上的测点异常量小或不明显。这次地震恰和1号测线方向垂直, 和2号测线平行。

#### 四、结 论

通过观测试验, 可以得出以下初步结论:

- (1) 用偶极方法观测到地震前在不同深度上的岩石电阻率显示出异常变化。
- (2) 偶极法探测到的深部地电阻率前兆异常似比现用四极对称探测到的

的浅部地电阻率前兆异常幅度大。

(3) 深部地电阻率似比浅部的地电阻率异常显示时间早。

1982年的试验供这次实验中观测到的是两次小震前的电阻率异常变化, 中强地震前能否有明显的前兆异常还需要进行长期的观测试验。为了适应在地震区长期观测试验, 保证资料的连续可靠, 观测仪器应改进为适合于偶极野外观测的自动化仪器, 同时应向自动数据处理方向发展。

为研究前兆优显层不同深度上地电阻率异常, 除需增大电源功率外, 还应改进整流器设备, 并且增加50平方毫米电缆, 以适应大电流供电工作需要。

根据实验室和野外试验结果, 地电阻率前兆异常有方向性, 为确定未来地震的位置, 试

验中要布置多方向供电测量。

此项工作是在于谋明同志的指导下进行的。参加实验观测工作的有李跃臣、金立明、董永德、陈宝智、梁戈束、姜中贤、王治华、扬荣、侯康明、丁步。试验研究工作得到国家地震局地球所赵玉林同志的帮助以及长庆油田指挥部研究院和本所工程地震室有关同志的大力支持，在此表示感谢。

(本文1984年3月2日收到)

### 参 考 文 献

- [1] 国家地震局兰州地震研究所, 宁夏回族自治区地震队, 一九二〇年海原大地震, 地震出版社, 1980.
- [2] 郭增建、秦保燕, 震源顶部条件—前兆优显层的讨论, 西北地震学报, Vol. 4, No. 2, 1982.

## THE TEST RESEARCH OF APPLING DIPLOE METHOD IN EARTHQUAKE PREDICTION

An Fulu

(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau, Lanzhou, China*)

### Abstract

The continual testing observation was carried out in Haiyuan, Ninxia from June to December 1982. Five observational points along two observation lines were arranged. The current was about 70-100A, and the accuracy of observation for the current about 0.5%. We observed the man-made potential difference using a small instrument car once a day and twenty pulses of the potential were observed every time, and the accuracy of observation of the potential was about 3%.

The results have shown that in the resistivities observed at all the observational points occurred abnormalities of total change of 8-20% before the earthquake  $M_s = 2.7$  in Haiyuan on August 14, 1982 (epicentral distance was about 17km), meanwhile the abnormal change observed by the four-pole symmetric observation which is used to survey the resistivity of shallow layer was only about 1.5%.

There were other anomalies recorded at the observational site with the total change of 7-9% in geoelectric resistivity before another earthquake ( $M_s = 3.3$ , Nov. 5, 1982) in the north of Tongxin, Ninxia, which was 110km from the observational site. It seems to the author that the anomalies could be explained on the basis of the hypothesis that there would exist a layer in the crust, where the precursor is stronger than in other region of the crust in the preparing process of earthquakes and which is called the precursor advantageous layer proposed by Mr. Guo Zengjian.