

丰城堡—祝家庄地区地壳偶极电测 深法的定点观测*

陈有发 康云生 杜学彬 陈宝智 侯康明
梁戈涑 董永德 张和全 梁戈沐 姜忠贤

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

1985~1988年在丰城堡—祝家庄地区进行了偶极法电测深观测。观测中采用供电偶极距为1000m,测量偶极距950—1000m,偶极中心间距5000—8000m。在观测期间发现地电阻率 ρ ,无明显季节性变化;在距测区100公里范围内发生 $M \geq 4$ 级地震前10天左右, ρ 出现3—8%的变化。

一、前 言

1979—1984年我们先后在甘肃山丹军马场、张掖小满、宁夏海原等地开展了地壳偶极测深法的流动观测实验。应用该方法观测,可以克服在地壳浅部用四极法测量中的地电阻率年变化,突出中等深度的地震电性信息。几年来的观测实验结果表明,地壳偶极测深法可以在地震危险区进行长时间定点观测。从1985年起,在丰城堡—祝家庄地区用该方法进行长期定点观测。本文介绍了主要观测结果。

二、丰城堡—祝家庄测区环境条件

1.测区的构造及地形条件 该区地形比较平坦、开阔,从丰城堡到祝家庄8 km 范围内,相对高差约为300m左右。河西系的山丹—乐都—临夏构造带通过该区(图1a)。据电法探测推断,在测区内近东西向断层(电 F_3)被北东向断层(电 F_4)错断,在测量偶极东侧还存在一条断层(电 F_{11})。因此,测区被上述三条断层所围限(图1C)。

2.测区的岩性条件 据钻井资料揭示,测区内下伏下寒武纪变质岩,其上为第三纪薄层泥岩(N),上覆第四纪松散沉积物。从丰城堡到祝家庄第四系厚度逐渐变薄,在丰城堡第四系厚约300m,而在祝家庄仅为几米(表1)。

3.测区的水文地质条件 测区承压水层位于河西走廊大黄山北麓新生代凹陷内,面

*偶极测深法用于地震前兆的观测研究工作是赵玉林和笔者1974年倡导开展的。

**参加本项工作的还有安福禄。

积约135km²，富水地区为4号井、19号井、20号井、7号井和农3井所在地区，它们均为承压自流井。第一承压含水层位于第四系的第三层砾石层内，厚度为10--20m左右，距地表110~190m左右；主要的第二含水层位于第四系的第五层砾石层内，厚度为20m左右，距地表190~250m左右。在丰城堡供电偶极周围1km²范围内有7口承压水井，供附近农灌和东水泉煤矿用水。冬天井水水位高，承压自流量大，夏天水位较低，承压自流量小，甚至有时断流。在王家墩和祝家庄测量偶极处，只有大口子沟水库浇地水经过。测区南面大黄山雪水为测区地下水的主要补给源。

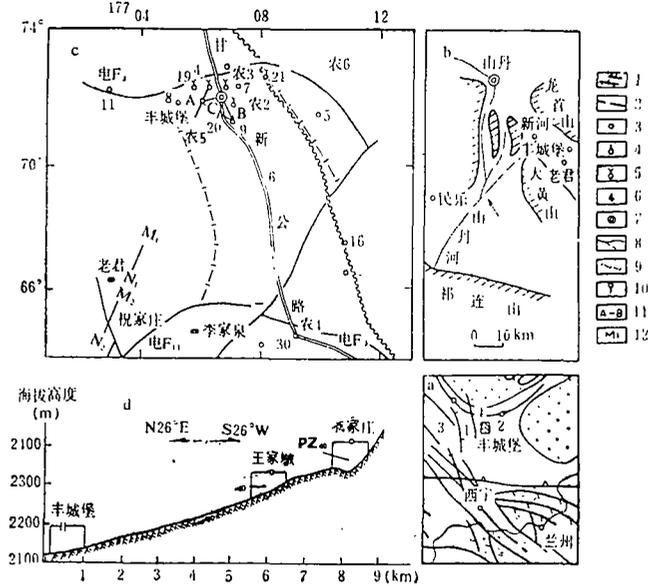


图1 测区构造及电极布设图

a.测区构造 b.测区与民乐盆地 c.测区环境与供电偶极AC、BC和测量偶极MN的布设(省燃化局145队) d.偶极电测深电极布设剖面 1.断层 2.电法推测断层 3.浅水孔 4.承压水孔 5.承压自流孔 6.孔号 7.机井 8.常年与暂时性流水沟 9.含水区分水边界 10.下降泉 11.供电偶极 12.测量偶极

Fig.1 Structure and electrode distribution in Fengchengbo-Zhujiashuang measuring area, Shandong county

表1 测区内第四系的厚度(m)

井号	农2	农3	4	农4	5	农5	6	农6
第四系厚度	>271	>250	>250	59.5	313.4	>271	239.8	166.7
井号	7	8	9	11	17	19	20	21
第四系厚度	>246	>285	>249	>341	219.9	>272	^275	>270

4.测区的电性条件 测区有较详细的电测深资料，图2a给出了丰城堡—祝家庄地区的电测深曲线，其地电断面基本上为KQH型，电性可分为六层。根据地层资料可以推断丰城堡Q在300m左右对应着测深曲线极小值。测深曲线尾支与横座标成45°夹角，故寒武纪地层的电阻率为无限大。

丰城堡1号测线和10号测线等极距ρ，曲线如图2b、c所示(两条测线在40号点相交)。由图可见，丰10线从南向北在 $\frac{AB}{2} < 100m$ 时 ρ，变化较大，当 $\frac{AB}{2} \geq 1000m$ 时 ρ，变化

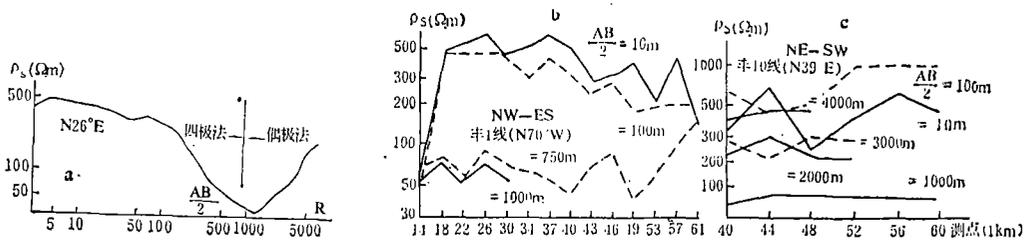


图2 丰城堡地区电测深曲线 (a) 和等极距 ρ_s 曲线 (b、c)

Fig. 2 Electrical sounding curves at Fengchengbo—Zhujiashuang (a) and equal electrode interval ρ_s curves (b, c)

很小，而丰1线由西向东 ρ_s 变化较大。

5. 测区的气候条件 测区的气候属大陆性气候，气温在 $-24^{\circ}\text{C} \sim 33^{\circ}\text{C}$ 上下，冰冻期为前一年9月至来年4月，最大冻土深度可达1.5m左右，测区年均降雨量为251mm，年蒸发量为2040~2400mm，是严重的干旱地区，地面的绝缘程度可在数兆欧姆以上。该区多为西北风或东南风，风力可达7~8级甚至更大，有时大风持续数日。

6. 电磁干扰条件 测区是农牧区，无工业设施，因此测区内的电磁干扰小，自然电场比较稳定，10分钟内变化在0.3%左右。

三、布极和线路

1985年5月到1986年5月地壳偶极电测深法为轴向装置，方位为 $\text{N}26^{\circ}\text{E}$ ，电极布设及具体参数如表2所示。布极区的中心座标为北纬 $38^{\circ}.529$ ，东经 $101^{\circ}.342$ 。表中 R_1 和 R_2 是供电偶极中心与测量偶极中心之间的距离，第二测点位于大黄山脚下，测量线通过之处地形较王家墩复杂，如图1d所示。它们在平面上的位置如图1c、图2a (MN) 所示。每个供电电极均用6块 $0.6\text{m} \times 1\text{m}$ 、厚3mm的铅板组成，接地电阻为16~23欧姆。接收电极是同样大小的一块铅板。电极埋设在地下2m左右深处，用三芯电缆作供电线，在此期间电缆线设在地面上，在交通要道处理于地下。用军用被复线作测量线，并用4m高的水泥杆架空拉紧。

表2 装置位置参数

	丰城堡供电偶极	王家墩测量偶极	祝家庄测量偶极
经纬度	$101^{\circ}.359\text{E}, 38^{\circ}.568\text{N}$	$101^{\circ}.336\text{E}, 38^{\circ}.504\text{N}$	$101^{\circ}.324\text{E}, 38^{\circ}.489\text{N}$
海拔高度 (m)	2120—2140	2280—2320	2380—2400
AB (MN) (m)	1000	$M_1N_1 = 950\text{m} \quad R_1 = 5500\text{m}$	$M_2N_2 = 1000\text{m} \quad R_2 = 7900\text{m}$

表3 套管供电极的有关参数

钻孔编号	接地面积 (m^2)	钻孔深度 (m)	套管长度 (m)	套管直径 (m)
9	47.0	248.93	124.63	120
10	71.8	250.60	119.73	191

从1986年6月起，利用当地抽水钻孔的金属套管作为供电电极，如图1c和表3所示。它们的接地电阻为 2.5Ω ，9号井和10号井组成 $\text{N}24^{\circ}\text{W}$ 向供电偶极， $\text{AB} = 850\text{m}$ 。供电偶极中心

与两个接收偶极中心的距离分别为5600m和7900m。电缆线埋于地下0.5m深处。

采用下述公式计算装置系数K:

$$K = \frac{\pi R^3}{AB \cdot MN [\cos\theta \cos(\beta - \theta) - \frac{1}{2} \sin\theta \sin(\beta - \theta)]}$$

式中 θ 为供电偶极AB的中心和测量偶极MN中心连线R与供电偶极AB方向的夹角, β 为测量偶极MN与供电偶极AB方向的夹角,K的单位为m。

四、测量方法

1. 供电电源 1985年5月至1986年5月观测用40和60kw的柴油发电机作供电电源。从1986年6月开始采用50kw变压器(原边电压为6600伏,副边电压为380伏),引入当地工业电作为供电电源。用可控硅三相桥式全控整流器将交流电整流后再输入到地下介质中。在使用铅电极时供电电流为30~40安培,当用套管时电流为60~130安培。

2. 测量方式 每天工作均在早晨6点至7点左右。在1分钟里持续供电25~30秒,停电30~35秒,在大电流条件下半分钟内供电10秒,停20秒。采用正反向两种形式供电。每次观测约40组数据。用PZ-40数字地电仪及PZ-40数据处理器(或LY-4型数字记录器)配合记录人工电位差 ΔV_{MN} 和供电电流I。

长期以来PZ-40型数字地电仪性能稳定,见表4。在表中V为PZ-40地电仪读数, V_0 为标准信号,r为相关系数,n为资料组数。

表4 仪器的稳定性

	王家墩Pz40型数字地电仪			祝家庄Pz40型数字地电仪		
	V = 0.005 + V ₀	n = 15	r = 1.00	V = 0.005 + V ₀	n = 15	r = 1.00
1987.11.21	V = 0.003 + V ₀	n = 35	r = 1.00	V = 0.004 + V ₀	n = 17	r = 1.00
1988.8.15						

五、观测结果及解释

1. 资料处理方法

1985年5月~1986年5月采用计算梯形脉冲电流在自然电位上形成梯形波两边(各5个数)幅度平均值的方法。即

$$\bar{E}_{SP1} = \sum_{i=1}^N E_{SP1} / N; \quad \bar{E}_{SP2} = \sum_{i=1}^N E_{SP2} / N;$$

$$\bar{V}_{T1} = \sum_{i=1}^N V_{T1i} / N; \quad \bar{V}_{T2} = \sum_{i=1}^N V_{T2i} / N;$$

$$\bar{V}_T = \frac{1}{2} (\bar{V}_{T1} + \bar{V}_{T2}); \quad \Delta V_{MN} = \bar{V}_T - \frac{1}{2} (\bar{E}_{SP1} + \bar{E}_{SP2}).$$

式中 \bar{E}_{SP1} 和 \bar{E}_{SP2} 分别为供电前和断电后的自然电位5个数的均值, \bar{V}_{T1} 和 \bar{V}_{T2} 为人工电位和自然电位的代数和,二者的单位都为mV。在计算过程中把供电开始到电流稳定之间暂态过程的数舍去,计算时舍掉大于3%的资料,整个观测资料的精度为1~2%。

1986年6月以后采用计算梯形脉冲电流在自然电位上形成梯形波的后沿幅度值的方法,即

$$\Delta V_{MN} = \bar{V}_T - \bar{E}_{SP2}.$$

计算电阻率 ρ_s 的公式为

$$\rho_s = K \cdot \frac{\Delta V_{MN}}{I}$$

2. 观测结果及其解释

1985年5月至1988年3月偶极电测深地电阻率五日均值差分曲线如图3所示。图中的上下虚线表示地电阻率五日均值一阶差分波动的3倍范围，计算时间分别是每年4月15日、11月15日和11月16日至来年4月14日。在此期间，距测区中心约100km范围内（北纬 $38^\circ.5 \pm 1$ ，东经 $101^\circ.3 \pm 1$ ）发生 $M_s \geq 4$ 级以上地震15次。从图3可以看出：两个测点电阻率测值的一阶差分值超过了正常波动范围的共有5次，即1985年7月、1986年8月、1986年9月、1987年2—3月和1987年8—9月。在上述时段里都发生了一些较大地震。1985年7月14日甘肃武威九条岭发生4.2级地震，震前电阻率异常时间在10天左右，异常幅度为3.8—4.2%（图3）。1986年8月26日门源6.4级地震前1个多月左右电阻率有十分明显的变化。9月17日门源5.2级地震前10天左右地电阻率也有异常，异常幅度达6—7.4%。实际上1986年8—9月应为一个时间段。在这期间地电阻率变化反应的是以门源6.4级地震为主的一次地震过程。门源地震以后直到年底测区周围没有4级以上的地震发生，3级地震仅有3次。因此在此期间地电阻率变化比较平稳。1987年8—9月地电阻率的变化与9月12和14日发生在距

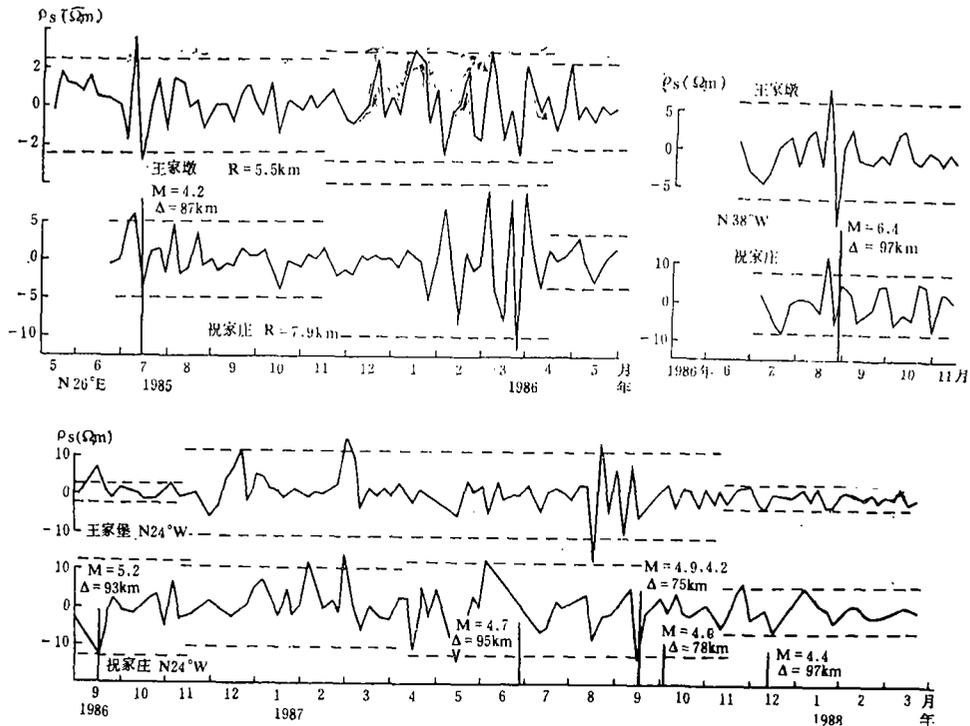


图3 丰城堡—祝家庄地区偶极法电阻率五日均值差分曲线

Fig. 8 Difference curves of ρ_s 5-day mean value measured by double electrode method of Fengchengbo—Zhujiastang

测区80km左右的张掖地区的4.9和4.2级地震以及10月3日金昌4.0级地震有密切关系。1987年2—3月电阻率变化也很明显，在此期间没有发生4级以上地震，但是从1987年1月31日

至3月16日在测区周围共发生3~3.9级地震9次,最近的距测区中心30余km,所以,地电阻率的变化反映了这些地震的活动过程。

从图3还可以看出,在有的时段里两个测点的地电阻率变化没有能够同时超出正常的波动范围,只有一个测点超过或者两个测点的差分值都在2—3倍波动范围变化,属于这种情况的只有三个时间段:即1986年2—3月,1987年5—6月和11~12月。1986年2—3月祝家庄电阻率变化超过3倍波动值,而王家墩的 ρ_s 变化比较小,在此期间从1月12日至4月15日在测区发生了6次3—3.7级地震。1987年5—6月祝家庄地电阻率变化超过3倍波动值,6月28日距测区90km的门源发生4.7级地震,同时在5月1日至7月22日在测区周围发生了7次3~3.3级地震。1987年11~12月的电阻率变化对应了12月15日古浪4.4级地震($\Delta = 80\text{km}$)。

综上所述,在电阻率五日均值的一阶差分值发生超过3倍波动范围变化时,都有4级以上地震与它们相对应,或者发生一组3级地震。地震前地电阻率的异常时间一般为10—20天,有时更长一些。但是应当指出,1986年2—3月和1987年2—3月的地电阻率变化有可能是季节性变化,因为它们在时间上相同。但1988年2—3月地电阻率变化却没有类似的现象,所以对此还有待于今后的实践来检验。总之,几年来的观测实践表明,偶极电测深法可以用于地震前兆的观测,并可以用于在地震危险区进行长时间定点测量。

结 论

1. 距离为5—8km的地壳偶极电测深法测得的地电阻率几乎无季节性变化,它有利于克服浅部地电阻率年变化的影响。

2. 4.0级以上地震($M \leq 6.4$ 级)前10—70天,中等深度的地电阻率都有4%甚至更大的变化。

3. 在地震多发地区应开展大功率偶极电测深的常规观测工作。一个发射偶极可供较多的测量偶极使用,其监视面积可达 1000km^2 。

(本文1989年4月5日收到)

THE REGULAR OBSERVATION OF THE DIPOLE ELECTRICAL
SOUNDING OF THE CRUST AT FENG CASTLE-
ZHUJIA VILLAGE

Chen Youfa, Kang Yunsheng, Du Xuebin, Chen Baozhi,
Hou Kangming, Liang Geshu, Dong Yongde, Zhang Hequan
Liang Gezhe, Jiang Zhongxian
(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Gansu, China*)

Abstract

In 1985-1988 at Minle earthquake risk region, Gansu Province, the regular measuring has been carried out by using the method of dipole electrical sounding with current electrode spacing $AB=1$ km, receiver electrode spacing $MN=0.95-1$ km, central distance of dipole $R=5-8$ km. The results show: (1) Apparent resistivity ρ_s does not have yearly variation; (2) The ρ_s variation, about 10 days before the $M>4.0$ earthquakes, is 3-8% in range of 100 km to the observation point.