

# 地电阻率法的台址条件(一)

陈有发 丁 卉\*

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

本文着重研究了地电阻率法台址中测区的地质构造条件。根据四个7级以上大震前地电阻率 $\rho_s$ 变化的资料和实验研究结果认为,地电阻率法台址首先要选在发震断层两侧的整体岩石中,不宜是破碎的岩体。

预报地震的地电阻率法和地球物理勘探中的电法勘探一样,也要求有一定的应用条件才能发挥它预报地震的作用。我们把能够记录到地震电性前兆的地电阻率法的应用条件称之为地电阻率法的台址条件,简称地电台址条件。十五年来的广泛实践表明,一些较好的地电台址的地电阻率 $\rho_s$ 资料,能够较完整地反应地震孕育过程中地下岩石导电性在时间上和空间上的演化过程,或者抵抗干扰能力强,能客观地、可靠地反应地下介质导电性的真实变化行程。这些都为地震预报提供了比较好的科学依据〔1〕〔2〕〔3〕〔4〕,或者为研究缓慢的地壳运动(非地震活动,以下相同)提供了有关信息的资料〔5〕〔6〕〔7〕。然而,一些地电台址条件不好的地电阻率 $\rho_s$ 资料变化杂乱无章或呈一条直线,从中找不到或很难寻找到与地震和地壳运动有关的导电性变化的信息。因此,从地震预报科学研究和经济效果方面来讲,选择合适的地电台址对预报地震的地电阻率法是至关重要的。一个理想的地电台的台址条件包括:

一、测区的地质构造条件,二、岩体力学条件,三、电性条件,四、水文地质条件,五、探测深度条件,六、地形地貌条件,七、电磁干扰条件。下面就具体讨论这些问题。

## 一、测区的地质构造条件

现在大多数地震学家认为〔8〕〔9〕〔10〕,地震是由于断层的急剧运动而发生的。在发震断层孕震或活断层活动过程中,必定会在它们周围形成一个其中包括岩体导电性在内的物性异常区。因此,地电台的台址首先就应该最大限度地选在短期可能发震的活断层或震源断层附近,而不应该将地电台布设在一般的断层周围。只有这样才能记录到地震孕育过程中明显的

\*董永德、康云生同志作了有关工作

地电阻率 $\rho_s$ 的异常 $\Delta\rho_s/\rho_s$ 变化。

1976年7月28日唐山7.8级地震发生在近东西向的阴山—燕山南缘活动构造带与北北东向的华北平原活动构造带的交汇处，即由宁河—昌黎深断裂、丰台—野鸡坨大断裂、滦县—乐亭断裂和蓟运断裂所围限的唐山菱形块体内。连通性不好的唐山断裂与隐伏深断裂之间复杂的构造闭锁区可能就是发震的构造部位。菱形块体短轴方向上的两钝角端部是构造的复杂交汇区，也是唐山断裂带端部破裂的扩展区和北西向构造的牵动区。根据卫星重力资料推导的应力集中区要比它大得多〔1〕。

唐山地震的发震构造条件决定了它周围地电阻率前兆变化的特征。从震中周围地电阻率前兆特征的分析，可以得到如下五个特点（参看文献1—4）：

1. 在唐山菱形块体内的唐山（ $\Delta = 0\text{ km}$ ）和菱形块体外的昌黎（ $\Delta = 70\text{ km}$ ）、宝坻（ $\Delta = 80\text{ km}$ ）、塘沽（ $\Delta = 80\text{ km}$ ）、八里桥（ $\Delta = 140\text{ km}$ ）、徐庄子（ $\Delta = 140\text{ km}$ ）、西集（ $\Delta = 120\text{ km}$ ）、青光（ $\Delta = 100\text{ km}$ ）和忠兴庄（ $\Delta = 150\text{ km}$ ）等台地电阻率 $\rho_s$ 异常在1.5%以上的时间有1—4年〔1、2、3、4、11〕。

2. 在菱形块体东北—西南方向的东南面的昌黎、马家沟（ $\Delta = 10\text{ km}$ ）、塘沽、徐庄子、青县（ $\Delta = 160\text{ km}$ ）、郑州（ $\Delta = 660\text{ km}$ ）地电阻率还呈现10天左右异常幅度达3—23%左右的短临前兆变化，而在这一方向的北西面，除小汤山（ $\Delta = 170\text{ km}$ ）和西集台外几乎没有这种变化〔3、4〕。

3. 震源断层附近（11度区）的唐山、马家沟台和菱形块体边界附近的昌黎、宝坻台地电阻率 $\rho_s$ 前兆变化呈现明显的方向性（在以后的论述中就暂不涉及同一台 $\rho_s$ 变化的方向性）。前者南北向地电阻率前兆变化量大，东西向量小；后者是南北向量小，东西向量大〔1、4〕，亦即在卫星重力资料推导的应力集中区内外地电阻率 $\Delta\rho_s/\rho_s$ 异常的方向性是相反的。

4. 远离震源断层的小汤山（ $\Delta = 170\text{ km}$ ）、马各庄（ $\Delta = 180\text{ km}$ ）和张山营（ $\Delta = 220\text{ km}$ ）、徐水（ $\Delta = 240\text{ km}$ ）台地电阻率 $\rho_s$ 在唐山7.8级地震前没有什么趋势性异常。

5. 震中周围地电阻率异常 $\Delta\rho_s/\rho_s$ 等值线呈现的元宝形与唐山断裂带端部破裂的扩展区和北西向构造的牵动区相一致。

因此，只有位于活断层或发震断层附近的地电台才能记录到地震孕育过程中震中周围一定范围内地下介质导电性变化的特征。但是，应当说明，上述有异常的地电台 $\rho_s$ 对唐山7.8级地震反应的程度和特征是有差别的，这和地电台址的其它条件还有内在联系，这将在以后的文章中加以详细讨论。

需要指出，离发震断层110km的马坊台地电阻率在震前无异常，其原因还需仔细研究。

1973年2月6日四川省炉霍7.9级地震发生在鲜水河断裂带上。甘孜台离震中45km左右，离鲜水河断裂带10余公里。由于建台较晚，震前地电阻率异常 $\Delta\rho_s/\rho_s$ 只有一年半的时间，幅度达8.1%〔12〕。康定台虽然在鲜水河断裂带上，但离震中（ $\Delta = 220\text{ km}$ ）较远，地电阻率无明显异常。

1976年5月29日云南省龙陵7.4级地震发生在怒江大断裂、畹町大断裂和龙陵—瑞丽大断裂围限的三角形花岗岩体内部，靠近龙陵—瑞丽大断裂和怒江大断裂。腾冲台在三角形外距龙陵—瑞丽大断裂20—30km，距震中50km〔12〕。震前地电阻率有2年半的异常时间，其幅度达10%，如图1所示（图中 $\rho_s$ 是取每年1—4月和9—12月两个时期的平均值来表示）。除此之外，在震中周围200km范围内就没有地电台了。

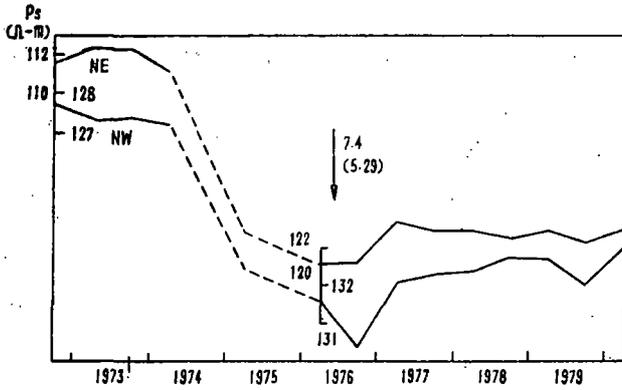


图1 龙陵7.4级地震前后腾冲台地电阻率 $\rho_s$ 变化曲线  
 Fig.1 Various rate of earth resistivity  $\rho_s$  in Teng-chong station before the Longling earthquake ( $M=7.4$ ).

1976年8月16日四川省松潘—平武7.2级地震发生在雪宝顶隆起带东侧虎牙断裂带上。武都台位于虎牙断裂东北约50km处，而松潘台位于雪宝顶隆起带西侧的岷江断裂带上，并且为两条相距不远而又平行的断裂所围限，离发震断层——虎牙断裂约50km<sup>[12]</sup>。离震中102km的武都台从建台起地电阻率就有异常，到发震时有20个月的时间，异常幅度达14%之多，如图2所示。

距震中50km的松潘台地电阻率有2年左右的异常，但是，异常幅度只有1%左右。两个台地电阻率异常

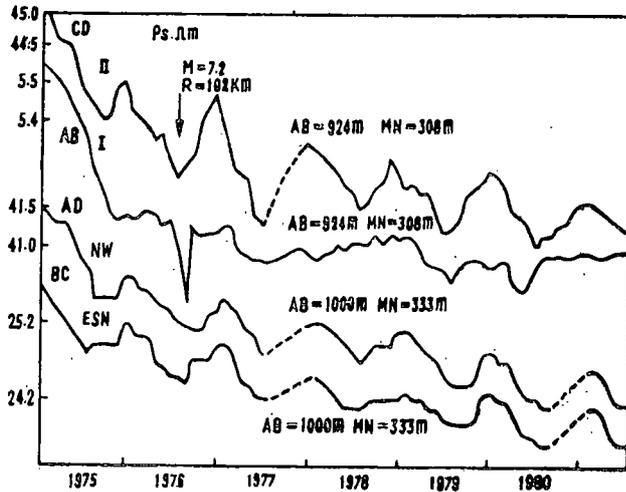


图2 松潘—平武7.2级地震前武都台地电阻率 $\rho_s$ 变化曲线

Fig.2 Various rate of earth resistivity  $\rho_s$  in Wudu station before the Sonpan-Pingwu earthquake ( $M=7.2$ ).

$\Delta\rho_s/\rho_s$ 有如此之大的差异的原因可能有三方面：一是松潘台在雪宝顶隆起西侧又为两条断裂所围限，与附近岩块不是一个足够大的整体，这样的台可能就是不能很好地反应外围的地震活动；二是松潘台第四纪复盖层厚度（150—200米）比武都台第四纪复盖层（20—100米）要大得多，因为较厚的复盖层对地电阻率异常 $\Delta\rho_s/\rho_s$ 量有抑制作用<sup>[13]</sup>；三是松潘台第四纪下伏石灰岩，而武都台第四纪下伏碳硅质板岩、含碳云母片岩和含磁黄铁矿凝灰质砂岩，前者岩质坚硬，后者是一种受力后易于变形的低阻岩层，亦即是反应地震灵敏的岩石。

从上述三个大震周围地电阻率 $\rho_s$ 异常分布特征来看，地电台也必须选在发震断层附近才能记录到地电阻率异常。

进一步的理论和实验研究表明，地电阻率台址不仅应该布设在活断层或发震断层附近，

而且还应该布设在发震断层附近的整体岩石上。探测的范围应该为完整的岩体，而不是破碎带<sup>[14]</sup>。W.F.布雷斯和A.S.奥林奇发现水饱和岩石破裂后滑动过程中岩石电阻率的变化很小，如图3所示。

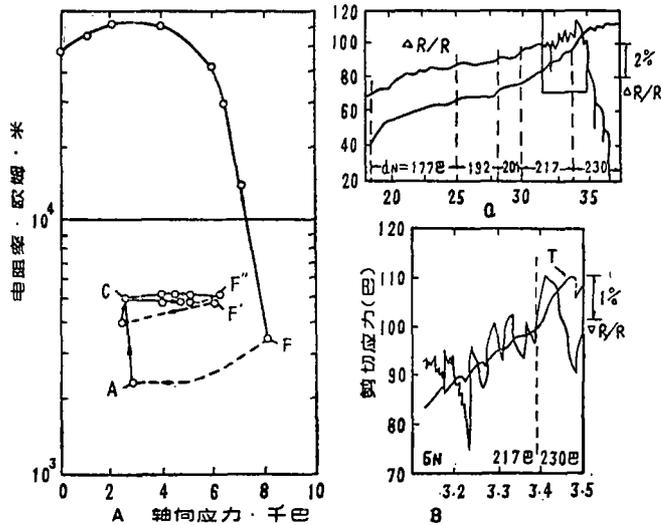


图3 岩石在摩擦滑动过程中电阻率的变化曲线

A, 花岗岩在破裂和滑动过程中电阻率的变化, 点线部分是破裂点F以及应力降落F'和F''的变化路线, 围压2 kb, 孔隙压力0.5kb

B, 花岗岩在正应力作用下, 切应力和电阻率相对变化与剪切位移的关系实验结果图, 长方形围起部分放大成b

Fig. 3 Various rate of resistivity of rocks in sliding frictions.

从图3—A可以看出，花岗岩在F点破裂后就逐渐恢复到平衡点C，从平衡点C到第二次破裂点F'和第三次破裂点F''，轴向应力差不多增加4 kb，可是破裂岩石的电阻率变化却很小，仅2%左右；倘若是完整岩石，在应力增加4 kb时，则电阻率变化量可达百分之几十到一个多数量级（见破裂点F前的岩石电阻率随轴应力增加而变化的曲线）。因此横跨断层的大极距地电阻率测量所得到的前兆异常显然是很小的，只有在完全没有断层或断层已经重新粘合的岩体之内测量才能在震前获得地电阻率的显著变化。

王其允从花岗岩在摩擦滑动中电阻率剪切实验的结果出发<sup>[15]</sup>，认为饱和花岗岩在摩擦滑动前电阻率显示了清楚的前兆变化，每次电阻率下降—回升的量级可以达到百分之几，最大可达6%，如图3—b所示。

仔细对比研究以上两个实验结果，发现花岗岩每次滑动时电阻率的变化都差不多在4%以内。布雷斯的实验需要3—4 kb的应力（因为围压高），王其允的实验需要的剪切应力却较小（正压力小）。

他们对电阻率变化小的解释也各不相同。布雷斯和奥林奇认为电阻率的迅速减小发生在破裂应力的80%以上，而在该实验中（破裂以后的实验）完全没有达到这个值时，应力就使岩石沿裂缝滑动，裂缝界线以内的膨胀效应将不大可能是显著的，亦即岩石在滑动中岩石的体积膨胀效应甚微弱。所以岩石的电阻率变化小。王其允认为在粘滑期间观测到电阻率的变化是由于紧接滑动表面附近的微小裂缝张开和闭合的结果，根据岩石电阻率变化最大值为6

%, 可以估计膨胀孔隙度 $\Delta\phi = 3 \times 10^{-5}$ 量级, 符合于花岗岩在摩擦滑动期间膨胀总量小于 $5 \times 10^{-5}$ 量级的事实。

但是, 必须指出, 布雷斯和奥林奇的实验更接近地电阻率法观测的实际情况, 实验结果对台址选择有指导意义。不过到目前为止, 在实际观测工作中还未获得横跨活动断层所记录到的地电阻率 $\rho$ 资料。

综上所述, 地电阻率法的勘探体应该在活断层或发震断层两侧附近的完整岩体之中, 不应该是破碎的岩层, 这是地电阻率法台址条件中的首要条件。

(本文1983年6月16日收到)

### 参 考 文 献

- [1] 钱家栋等, 几个浅源大地震前后地壳浅部视电阻率观测结果, 国际地震预报讨论会论文集, 地震出版社, 1981.
- [2] 赵玉林等, 唐山7.8级强震前震中周围形变电阻率的下降异常, 地球物理学报, Vol. 21, №3, 1978.
- [3] 金安忠, 唐山7.8级地震前兆地电阻率的时空展布特征, 地震研究, Vol. 2, №3, 1979.
- [4] 刘允秀, 唐山地震前视电阻率异常, 唐山地震考察与研究, 地震出版社, 1981.
- [5] 陈有发等, 地电阻率年变化的方向性与中国大陆构造应力场, 地震学报, Vol. 3, №1, 1981.
- [6] 陈有发等, 地下岩石视电阻率的年变化, 西北地震学报, Vol. 1, №3, 1979.
- [7] 陈有发等, 视电阻率法的流动测量, 地震战线, №5, 1980.
- [8] 郭增建等, 震源物理, 地震出版社, 1979.
- [9] 宇津德治, 地震学, 地震出版社, 1981.
- [10] 李善帮, 中国地震, 地震出版社, 1981.
- [11] 国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组, 一九七六年唐山地震, 地震出版社, 1982.
- [12] 马宗晋等, 中国九大地震, 地震出版社, 1982.
- [13] 陈有发等, 岩性对地电阻率前兆量的影响, 西北地震学报, Vol. 4, №4, 1982.
- [14] Brace, W.F. and A.S. Orange, Electrical resistivity changes in saturated rocks during fracture and frictional sliding, J. Geophys. Res., Vol. 73, №4, 1968.
- [15] Wang, C.Y., Electrical resistivity of granite in frictional sliding application the earthquake prediction, Geophysical Research Letter, Vol. 2, №12, 1975.

INVESTIGATION OF THE CONDITIONS OF UNDERGROUND  
MEDIUM ASSOCIATED WITH THE OBSERVATION OF EARTH  
RESISTIVITY—FIRST PAPER

Chen Youfa Ding Hui

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

**Abstract**

In this paper the geologic structure under observing station of earth resistivity has been studied. Based on the various data of earth resistivity  $\rho$  obtained before the four strong earthquakes ( $M > 7$ ) and some experimental results, the observing site is supposed to be selected in either side of fault of earthquake foci, not in the broken rock formation.