

# 变化电性剖面法应用特例介绍

金安忠 吴子泉 赵 强 王邦本

(山东省地震局)

**提 要** 在地电阻率观测中,由于表层变化影响往往使地电阻率测值产生一些不规则的非随机变化。本文以“变化电性剖面模型”为基础,计算出正常背景值,以消除表层变化的影响。实例计算表明,这一方法用来消除高阻型台站上所特有的幅度大而不规则的似年周期变化,较之一般的纯数学方法处理资料有利。

**关键词** 地磁观测 地磁资料处理

## 一、问题的提出

分析全国各种类型地电台多年观测资料发现,即使在正常情况下不少台站地电阻率值也出现随时间有系统而又不太规则的变化,这些变化具有似年周期的性质,相位和幅度各年不一,有些台站还出现一些非周期的趋势变化,给识别地震异常带来相当大的困难。有人提出采用多极距观测方法<sup>[1]</sup>,但在实际工作中普遍实现观测系统向多极距改造以及一套适合多种地电结构模型的高度反演技术的建立存在不少困难,尚需要一定的过程。而当前,据不完全统计, $\rho_s$ 值发生前述不规则、非随机变化台站约占总数的三分之一左右,它们分布在全国各主要地震活动带上,积累了大量的观测资料,要尽快开发使用这些宝贵资料,就必须研究处理现有台站资料的新方法。

## 二、表层干扰的理论模式及参数的确立和计算

分析全国各种类型地电台多年观测资料发现,在正常情况(无震),地电阻率也出现随时间有系统而又不太规则的变化。文献〔2〕中分析了这些变化的特征,并在此基础上提出“变化电性剖面模式”来阐明这些无震情况下变化产生的原因。认为受各种地表因素影响,剖面中电阻率随时间和空间的变化是引起视电阻率随时间变化的主要原因。我们称地电阻率测值中这类变化为“表层影响”。

造成电性剖面变化的地表原因和形式是多种多样的,这里我们仅讨论最常见的顶部为层状变化的均匀多层介质。

### 1. 消除表层影响的理论公式

如上所述,我们所观测的地电剖面是一个表层随时间不断改变的变化电性剖面,只要设法求得 $\rho_s$ 测值中所反映的这个变化电剖面,定量计算出该剖面对 $\rho_s$ 影响的理论值,以此理论值为背景值来考虑地电阻率变化的方法,我们称之为“变化电性剖面法”,从观测值中扣除理论值得余差方程:

$$\Delta\rho_s = \rho_s - \rho_{理} \quad (1)$$

其中  $\rho_s$  为地电阻率实测值,  $\rho_{理}$  为相应变化电性剖面的理论值。

$\rho_{理}$  为剖面参数和观测极距的复杂函数, 对于水平层状介质, 在地表采用四极对称装置观测视电阻率, 有  $\rho_{理}$  的理论公式<sup>[3]</sup>:

(1) 当介质无限均匀,  $\rho_1$  (或供电极距) 与第一层厚度相比足够小时则:

$$\rho_{理} = \rho_1 \quad (2)$$

在“变化电性剖面法”中  $\rho_1$  为变化电性层参数。

(2) 当剖面为二层时则:

$$\rho_{理} = \rho_1 (1 + S_2) \quad (3)$$

$$\text{其中: } S_2 = 2 \sum_{\alpha=1}^{\infty} \left( \frac{L^2 - a^2}{2a} \right) K_{12}^{\alpha} \left[ \frac{1}{\sqrt{(L-a)^2 + (2\alpha H_1)^2}} - \frac{1}{\sqrt{(L+a)^2 + (2\alpha H_1)^2}} \right]$$

$$L = \frac{AB}{2}, \quad a = \frac{MN}{2}, \quad K_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}, \quad H_1 = h_1, \quad \text{变化层的厚度。}$$

(3) 当剖面为三层时则:

$$\rho_{理} = \rho_1 (1 + S_2 + S_3) \quad (4)$$

其中  $S_2$  同前,  $S_3$  为:

$$S_3 = 2 \sum_{\alpha=1}^{\infty} \sum_{\beta=1}^{\infty} \left( \frac{L^2 - a^2}{2a} \right) K_{23}^{\beta} C_{\alpha\beta} (K_{12}) \cdot$$

$$\left\{ \frac{1}{\sqrt{(L-a)^2 + [2H_2\beta + 2H_1(\alpha-\beta)]^2}} - \frac{1}{\sqrt{(L+a)^2 + [2H_2\beta + 2H_1(\alpha-\beta)]^2}} \right\}$$

式中  $C_{\alpha\beta} (K_{12})$  为与正整数  $\alpha, \beta$  和  $K_{12}$  有关的常数, 且有:

$$C_{\alpha\beta} (K_{12}) = \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j \frac{\alpha}{\alpha+j} C_{\beta+j}^{\beta} C_{\beta}^j K_{12}^{\alpha-\beta+2j},$$

$$\text{其中 } C_{\beta+j}^{\beta} C_{\beta}^j \text{ 是 } C_m^n \text{ 组合运算, } h_2 + h_1 = H_2, \quad K_{23} = \frac{\rho_3 - \rho_2}{\rho_3 + \rho_2}.$$

(4) 对四层以上的多层剖面有:

$$\rho_{理} = \rho_1 (1 + S_2 + S_3 + S_4 \cdots + S_n) \quad (5)$$

其中  $S_4 \cdots S_n$  为比  $S_3$  更为复杂的函数。

应用计算机可以方便地算出任意层的  $\rho_{理}$  值。

## 2. 理论模型参数的确立

从理论上讲, 只要变化电性剖面选取得足够正确, 则表层影响就能排除。下面我们根据所要解决的任务, 给出较简易的方法, 获得变化电剖面参数:

第一, 确立固定层参数

将观测区的电测深、电测井及其它有关电性资料和参考模型进行模拟计算, 反演给出该区的电剖面固定层参数  $\rho_i, h_i$ 。

## 第二，确立变化层参数

实际上变化表层 $\rho$ 参数随时间可变，且在空间上分布也是不均匀的。众所周知，当我们选取适当小的极距时所测得的 $\rho_{s,小}$ 值可以平均地等效地反映出表层 $\rho$ 的这种变化。若以此 $\rho_{s,小}$ 代替变化表层的电阻率，当配合以某一相应厚度时，所构成的新的变化表层可以对台站所观测的 $\rho_s$ 值产生与原变化表层等效的“表层影响”，此等效层的厚度用 $h_{等}$ 表示。 $h_{等}$ 的求取很简单，将固定层参数，一组准确的 $\rho_{s,小}$ 和参考模型输入计算机进行正演计算，并将结果与台站相应观测值 $\rho_s$ 相比较反演出 $h_{等}$ 。

为掌握表层的电性变化，必须进行小极距的同时观测，以便随时取得变化表层的电参数。实际作起来很方便，因为小极距一般只有数米至数十米。

在掌握固定参数，变化层等效厚度的基础上，将随时测得的小极距观测值 $\rho_{s,小}$ 作为变化层的电阻率代入(2)一(5)式中相应的公式进行正演计算求得 $\rho_{理}$ 代入方程(1)则可给出消除表层影响后的残差曲线。

## 三、消除表层影响计算实例及与常规方法比较

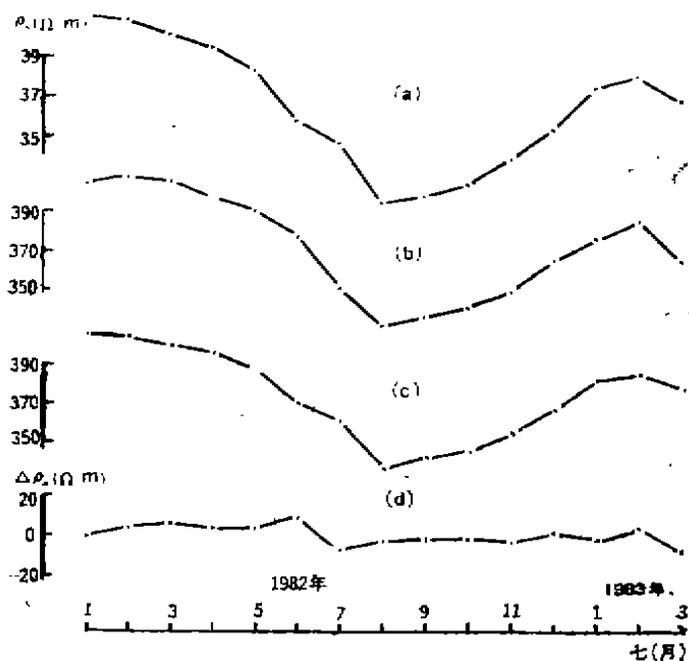


图1 用“变化电性剖面法”定量消除临沂台表层影响实例

Fig 1 Examples of quantitatively eliminating the surface influence at Linyi Station by the profile method of variable electric property

(a)  $AB=21$ 米  $\rho_s$  实测值；(b)  $AB=744$ 米  $\rho_s$  实测值；  
(c)  $AB=744$ 米  $\rho_s$  计算值  $\rho_{理}$ ；(d) 消除表层影响后差值。

山东临沂台是台址条件为高阻型台站，具有典型年变特征，年变幅达20%以上，各年变化大，其年变干扰的性质属表层介质层状季节变化的影响<sup>[4]</sup>，适合本文所讨论的“变化电性剖面法”使用条件。

1982~1983年临沂台作了小极距测量， $AB=21$ 米， $MN=7$ 米，该台正常观测极距为 $AB=744$ 米， $MN=140$ 米，两者同时平行观测时间一年多如图1中所示。

利用临沂台电测深及有关资料进行反演模拟计算给出电剖面为二层，其参数为：

$$\rho_2 = 1080 \Omega \cdot M$$

$$h_{等} = 25.75 \text{ 米}$$

表层平均等效电阻率由小极距实测值 $\rho_{s,小}$ （与台站正常 $\rho_s$ 值同时观测）给出。

依上述变化电性剖面参数进行正演计算，给出各时段 $\rho_{理}$ 从而依公式(1)求得消除表层干

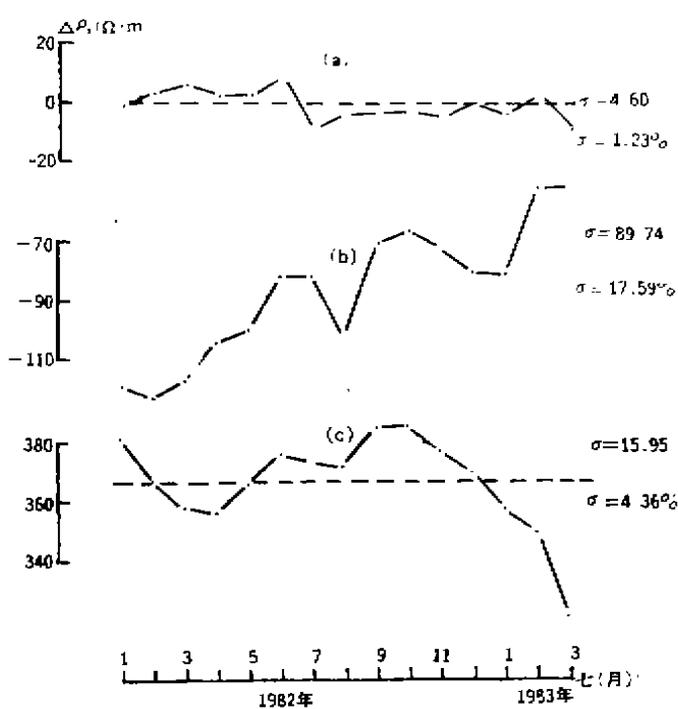


图2 用不同方法定量消除临沂台表层影响效果对比  
Fig. 2 Contrast between the effects of quantitatively eliminating the surface influence at Linyi Station by different ways

(a) 变化电剖面法 (b) 距平法 (c) 富氏谱分析法  
 $\sigma$ : 均方差,  $\sigma'$ : 相对均方差

测中的干扰和异常,我国现行的单一极距的观测系统应改造,实现多极距观测是一种途径,条件具备地区进行井下观测等方法也是一种途径。然而要普遍完成上述改造需要一个过程,为了充分利用许多台站现有资料,采用一些较易实现的方法处理资料是极为必要的,也是可能的。

一般纯数学方法如距平法、富氏分析法、多项式拟合等使用方便,条件简单,适于处理变化较规律的资料;但在高阻型剖面上,台站资料变化往往很不规则,其使用效果较差,而采用“变化电性剖面法”处理此类台站表层影响多数效果好。但相对普遍纯数学方法而言,要求条件较多,计算也较复杂。

#### 参 考 资 料

- [1] 钱家栋等, 1988, 地电阻率的数值模拟和多极距观测系统, 地震学报, 10(1), 77—88.
- [2] 金安忠, 1981, 地电阻率正常变化的初步研究, 地球物理学报, 24, 92—106.
- [3] 钱家栋等, 1985, 地电阻率法在地震预报中的应用, 地震出版社.
- [4] 金安忠, 1982, 浅部有高阻屏蔽地区获取地电阻率平稳变化的一种可行途径, 地球物理学报, 25

扰后的残差曲线,如图1所示。  
图1中改正前 $\rho_s$ 日常测值相对变化幅度为20.1%,而改正后残差曲线的相对均方差为1.23%。

采用“变化电性剖面法”以及通用的距平法和富氏分析方法求得残差曲线,其对比结果见图2。

可见,用“变化电性剖面法”处理高阻型台站所特有的大幅度,不规则的表层影响较之通用方法要好得多。

为了阐明方法在何种条件下更有优越性,我们用“变化电性剖面法”对菏泽实验观测资料(1980~1982)<sup>[5]</sup>进行了处理,其结果与采用距平法所得残差曲线的均方差分别为0.39 $\Omega \cdot m$ 和0.33 $\Omega \cdot m$ ,这一结果说明,年变化比较规则的台站,与其它方法处理效果等同。

#### 四、结束语

为了有效地识别地电阻率观

# AN INTRODUCTION OF A PROFILE IN VARIATION ELECTRIC PROPERTY

Jin Anzhong, Wu Ziquan, Zhao qiang and Wang Bangben

(Seismological Bureau of Shandong Province)

[Abstract] The observed value of earth resistivity is caused to produce some irregular unstoochastic variation by the influence of surface variation. In this paper, basing on the profile model of variable electric property, the normal background value is calculated to eliminate the influence of surface variation. The result shows this method is better to handle data than the general mathematics do to clear up pseudo annual period variation of large in range and irregular in model which exist in the high impedance stations.

[Key words] Geomagnetic observation; Handling of geomagnetic data

## 本刊1991年11卷4期勘误

页	行	字	误	正	页	行	字	误	正
02	9	19	岩	岸	25	9	倒6	山	井
	11	17	锋	峰		倒7	倒2	二	四
21	倒4	4	$F_1$	$F_2$		倒4	8	沉结构	沉积结构
		11	$F_2$	$F_1$	27	8	4	旱	旱
22	5	倒6	非	外		25	1—4	1844±	4184±
	15	11、12	度厚	厚度	28	11	倒10	本文区域	本区域
	29	9	$Q_2^{al}$	$Q_1^{al}$		17	3	期	起
23	倒7	倒5	含砂砾	含泥砂砾		17	10	沪	沪
	倒18	3	$F_2$	$T_2$		22	7	沪	沪
目录	6	13	根华	华根		22	28	和	活