

# 视电阻率年变的定量计算

徐世浙

(山东海洋学院)

## 摘要

本文定量分析地温、地下水位变化对视电阻率的影响。首先建立与地温、地下水位变化相应的地电断面，这种断面的电性不是分层均匀的，然后用有限单元法计算视电阻率。计算结果表明，对与临沂地电台相近的地电断面，地下水位的变化对视电阻率年变的影响大于地温年变的影响，前者约为后者的两倍。基岩对年变大小有强烈的控制作用，基岩浅，年变明显，基岩深，年变大为减弱。

## 一、引言

许多地电台站的视电阻率曲线存在年变现象。图1是临沂地电台的视电阻率变化曲线<sup>[1]</sup>，它有明显的年变。一些作者根据相关分析方法，指出视电阻率年变的主要原因是地温和地下水位的升降。但相关分析法研究不同现象之间的表面关联，并未解决现象之间的内在联系，所以不能定量地研究不同因素对视电阻率的影响程度。本文采用计算视电阻率的方法，定量分析地温和地下水位升降以及基岩埋深对视电阻率的影响。在计算中，首先建立与地温、地下水位变化相应的地电断面，由于这种电性断面不是分层均匀的，用

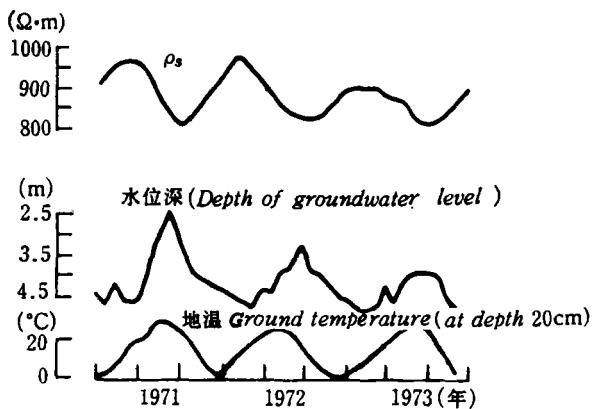


图1 临沂地电台  $\rho_s$ 、水位、地温的年变

Fig. 1 The annual variations of apparent resistivity  $\rho_s$ , groundwater level and ground temperature at Linyi Station

本文 1984 年 4 月 24 日收到。

常规的解析法实难计算其视电阻率,本文采用有限元方法计算视电阻率。计算结果表明,对与临沂台相近的地电断面,地下水位的变化对视电阻率年变的影响大于地温年变的影响,前者约为后者的一倍。基岩埋深对年变大小有强烈的控制作用:基岩浅,年变明显;基岩深,年变大为减弱。

## 二、地温对视电阻率年变的影响

地表温度的变化是由大气温度变化造成的,服从如下规律<sup>[1]</sup>

$$T = T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}} z} \sin\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\kappa}} z\right), \quad (1)$$

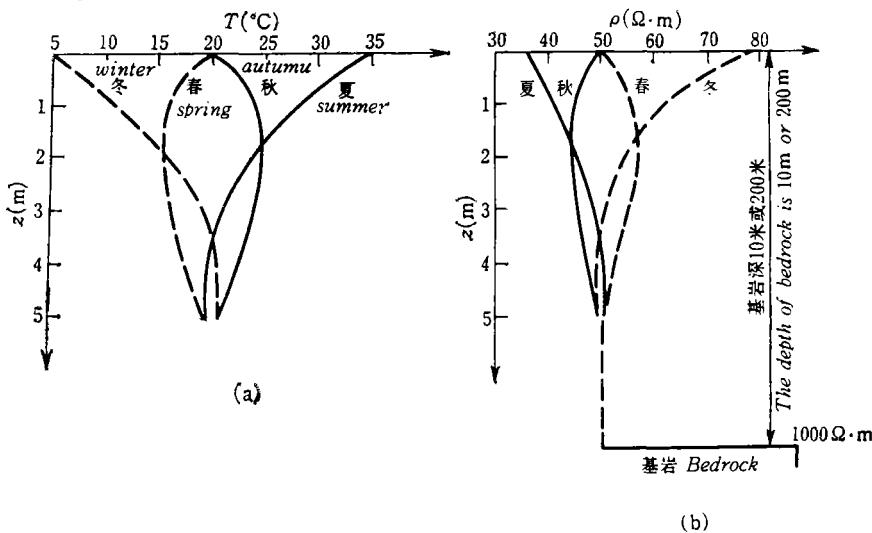
式中  $\omega$  是气温变化的角频率,对年变来说,有  $\omega = 2\pi/\alpha$ ;  $\kappa$  是热扩散率,取表层的  $\kappa = 0.0049 \text{ cm}^2/\text{s}$ ;  $T_0$  是气温年变幅,取  $T_0 = 15^\circ\text{C}$ (年温差  $30^\circ\text{C}$ );  $z$  是深度。按(1)分别作出  $\omega t = 0$  (相当于春季),  $\frac{\pi}{2}$  (夏季),  $\pi$  (秋季),  $\frac{3}{2}\pi$  (冬季) 时地温  $T$  随深度  $z$  的变化

(平均温度以  $20^\circ\text{C}$  计),如图 2(a)所示。从图看出,在地下 5m 处温度的年变化在  $1^\circ\text{C}$  左右,所以地温对电阻率的影响主要在地表 5 米内。

根据实验,在室温附近,含水岩石的电阻率与温度的关系是<sup>[1]</sup>:

$$\rho_t = \frac{\rho_{20^\circ}}{1 + \alpha(t - 20)} \quad (2)$$

其中  $\rho_{20^\circ}$  是  $20^\circ\text{C}$  时的电阻率(取  $\rho_{20^\circ} = 50 \Omega \cdot \text{m}$ ),  $\alpha$  是温度系数,一般  $\alpha = 0.025/1^\circ\text{C}$ 。将



(a) 地温  $T$  和深度  $z$  的关系

Variation of ground temperature  $t$  with depth  $z$

(b) 电阻率剖面

Resistivity section

图 2 春夏秋冬四季地温、电阻率与深度的关系

Fig. 2 The Variation of ground temperature and resistivity with depth during the four seasons

公式(1), (2)结合起来, 得到春夏秋冬四季的表层电阻率与深度  $z$  的关系如图 2(b) 所示。

根据实践, 视电阻率年变与基岩埋深有很大关系, 因而我们也考虑两种基岩埋深: 10 米和 200 米, 并令基岩电阻率  $\rho = 1000 \Omega \cdot \text{m}$ :

有了上述电性剖面后, 我们可以从理论上计算视电阻率, 以估计地温影响的数量级。我们这里遇到的是电阻率分层连续变化的电性断面, 为了计算这种电性断面的视电阻率, 我们采用有限单元法。

计算表明, 夏季视电阻率最低, 冬季最高, 秋季和夏季相近, 春季和冬季相近(见图 3)。值得指出的是, 虽然春秋两季地表温度相近, 但视电阻率却不同; 当地温年变为正弦曲线时, 视电阻率年变曲线并不与地温年变成镜象关系。

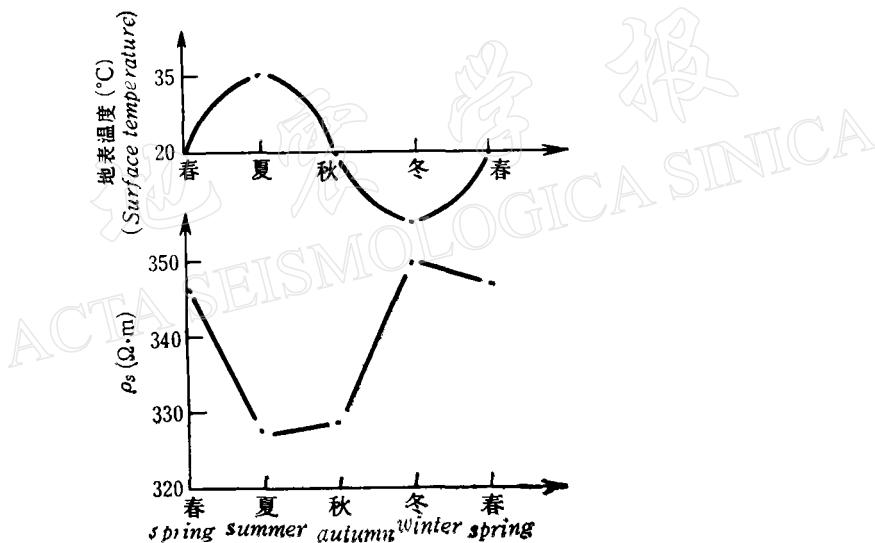
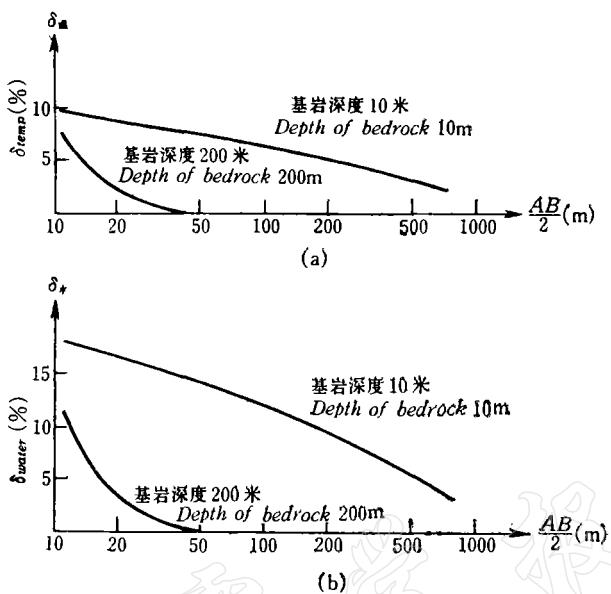


图 3 地温变化对视电阻率的影响(当基岩深 10m, 电极距  $\frac{AB}{2} = 97.5\text{m}$  时,  
按图 2(b) 的电阻率剖面标出)

Fig. 3 Influence of the variation of ground temperature on apparent resistivity  
(Calculated according to the resistivity section in Fig. 2(b), depth of bedrock =  
10m, electrode separation  $\frac{AB}{2} = 97.5\text{m})$

用  $\delta_{\text{年}} = 2 \frac{\rho_{\text{冬}} - \rho_{\text{夏}}}{\rho_{\text{冬}} + \rho_{\text{夏}}}$  作为年变幅, 作出年变幅  $\delta_{\text{年}}$  与电极距  $\frac{AB}{2}$  的关系曲线, 如图 4(a)

所示。从图看出, 当基岩浅 (10m) 时, 在电极距 100m—500m 的范围内  $\delta_{\text{年}}$  为 6.4% 至 3.4%, 当基岩深 (200m) 时,  $\delta_{\text{年}}$  大为减少, 小于 0.2%。

(a) 年变幅  $\delta_{\text{温}}$  与电极距  $AB/2$  的关系Relation between the magnitude of annual variation  $\delta_{\text{temp.}}$  and electrode separation  $AB/2$ (b) 年变幅  $\delta_{\text{水}}$  与电极距  $AB/2$  的关系Relation between The magnitude of annual variation  $\delta_{\text{water}}$ , and electrode distance  $AB/2$ 图 4 电极距、基岩深度对年变幅  $\delta_{\text{温}}, \delta_{\text{水}}$  的关系Fig. 4 The relation between electrode separation, depth of bedrock and magnitude of annual variations  $\delta_{\text{temp.}}, \delta_{\text{water}}$ 

### 三、地下水位对视电阻率年变的影响

岩石电阻率与湿度密切相关。我们对土壤进行实验，得到电阻率与湿度的关系曲线，如图 5 所示。可以看出，湿度对电阻率的影响远大于温度对电阻率的影响。当土壤含水达饱和时(湿度>20%)，电阻率变化不大。含水层饱含水，湿度接近常数(取20%)，电阻率也为常数。含水层以上的包气带的湿度是逐渐变化的，可近似认为湿度随深度线性变化：在地表为某个数值(如2%)，至含水层处，湿度变到20%，如图 6(a)所示。将图 5 与图 6(a)结合起来，得到图 6(b)所示的电阻率分布。地下水位的变化，取丰水期的水位深2m，枯水期的水位深4m。当地下水位升降时，不仅含水层深度的变化对视电阻率有影响，而且包气带厚度的变化也影响视电阻率。此外，我们再令基岩的深度分别处在  $h = 10\text{m}$  和  $h = 200\text{m}$ ，并令基岩的电阻率  $\rho = 1000\Omega \cdot \text{m}$ 。这也是电阻率分层连续变化的电性剖面，我们采用有限元法计算这种剖面的视电阻率。

计算表明，丰水期的视电阻率  $\rho_{\text{丰}}$  低，枯水期的视电阻率  $\rho_{\text{枯}}$  高。用  $\delta_{\text{水}} = 2 \frac{\rho_{\text{枯}} - \rho_{\text{丰}}}{\rho_{\text{枯}} + \rho_{\text{丰}}}$

作为年变幅，作出年变幅  $\delta_{\text{水}}$  与极距  $\frac{AB}{2}$  的关系曲线，如图 4(b) 所示。从图看出，当基岩

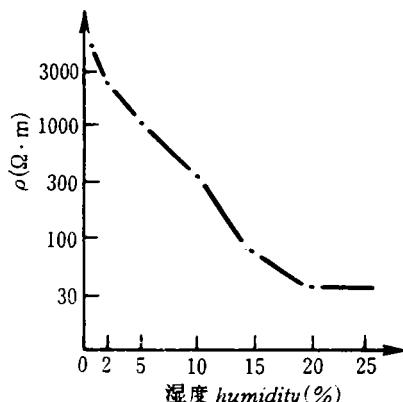
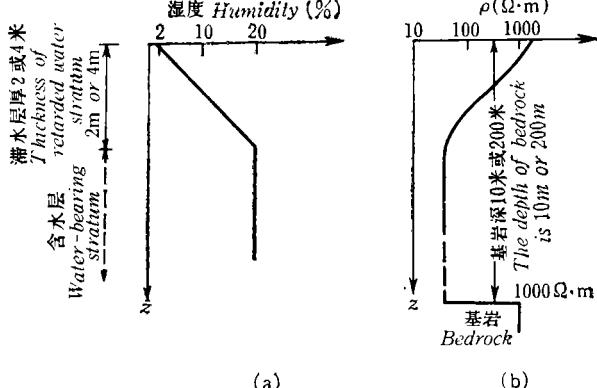


图 5 土壤电阻率与湿度关系的实验结果

Fig. 5 Experimental result of the relation between humidity and resistivity of soil



(a) 湿度与深度的关系

Variation of humidity with depth

(b) 电阻率剖面

Resistivity section

图 6 地下水位、电阻率与深度的关系

Fig. 6 Variation of humidity and resistivity with depth

浅(10m)时,电极距100—500m范围内的 $\delta_{\text{水}}$ 为12%至5.3%,约为地温引起的年变的一倍;当基岩深(200m)时, $\delta_{\text{水}}$ 与 $\delta_{\text{温}}$ 一样也大大减弱,小于0.2%。

#### 四、结 论

根据上述定量计算,我们得到以下结论:

- 对于临沂台相近的地电断面,地温变化引起的视电阻率年变的幅度一般在5%左右,地下水位变化引起的视电阻率年变幅度稍大,一般超过5%,可达百分之十几。
- 当地温年变为正弦曲线时,视电阻率年变并不与地温年变成镜象关系。
- 基岩埋深对视电阻率年变有强烈的控制作用:基岩浅,年变大;基岩深,年变小。当基岩埋深200m时,由气温和地下水位升降引起的年变是很小的。临沂地电台的基岩埋深为9m,所以年变明显。为了减少年变,应注意地电台址的选择。

#### 参 考 文 献

- [1] 金安忠,地电阻率正常变化的初步研究,地球物理学报,24, 92—106, 1981.  
 [2] J. A. 雅谷布斯,地球学教程(中译本),地震出版社,1979.

## QUANTITATIVE CALCULATION OF THE ANNUAL VARIATION OF APPARENT RESISTIVITY

XU SHIZHE

(*Shandong College of Oceanology*)

### Abstract

The influence of the variations of earth temperature and groundwater level on apparent resistivity is quantitatively analyzed in this paper. The geoelectric section corresponding to the variation of earth temperature and groundwater level are modeled. The resistivity of this sort of section is not stratically homogeneous. We calculated apparent resistivity by the finite element method. The calculation shows that for geoelectric sections similar to that at Linyi Station, the influence of variation of groundwater level on the annual variation of apparent resistivity is about twice that due to earth temperature variation.

The depth of bedrock strongly controls the magnitude of annual variation of apparent resistivity. The shallower the bedrock, the more obvious is the annual apparent resistivity variation, and vice versa.