

地电阻率季节干扰变化分析

钱复业 赵玉林 许同春
(国家地震局地球物理研究所)

摘要

结合我国实际,本文提出四类地电阻率季节变化的干扰模型。经模型理论计算及同有季节变化的四十多台站的实测资料对比得出:(1)地电阻率季节变化是探测深度偏浅时,地表层电性变化,特别是表层地下水水位年动态变化所引起的一种与地震无关的干扰变化。其变化形态与量级取决于干扰模型、地电断面类型以及探测深度。(2)通常地电阻率季节变化与浅层电阻率变化的符号一致,呈现出正常季节变化;但对K, Q型地电断面,当干扰层位于地表第一层时,将从某一供电极距开始,出现反常的季节干扰变化。(3)当探测深度大于300m时,不论正常的还是反常的季节变化,其幅度都将小于2%。因此,只要适当选择台址或加大供电极距使探测深度足够大,便可排除或压低这种干扰。

一、前言

在我国地电阻率测量中,约有50%的台站记录到准年周期性地电阻率变化,这种变化常在春、秋季取得极值,习惯称做季节(或年)变化。由于它的形态复杂,变化较大(相对地电阻率地震前兆信息为同一量级,甚至最大可超过几十倍),逐年形态不完全一样,对研究判断地电阻率地震前兆产生严重干扰,加之这类变化是物探中过去未曾研究过的现象,因此,系统地研究地电阻率的季节变化特点、规律及其形成的物理原因,对消除其影响,发展地电阻率方法是非常必要的。

本文对我国这方面近二十年的观测、实验结果进行了系统分析研究,探讨了季节变化特征,分布规律,并对近五十个地电台的地电断面参数进行了反演计算。据此提出切合我国实际情况的四类季节干扰模型,从理论与实际方面探讨了季节干扰变化的本质原因和消除压低方法。最后引用典型实例检验模型分析结果。理论与实际结果符合较好。

二、地电阻率季节变化性状

图1(a)给出我国记录到的地电阻率季节变化典型实例。从图可见,这种变化多在2—4月和7—9月取得极值,随季节呈现出准年周期变化,其峰—峰值变化幅度一般为百分之几,个别台可达20—30%。有的台2—4月出现极大值,7—9月为极小值,如图中昌黎、临沂等台的记录。有的则相反,2—4月极小,7—9月极大,如图中郫县台的记录。在这些变化中,有的与浅层(指三层地电断面的头二层)电阻率变化(或厚度改变所等价的电阻率变化,相对下层为高阻时用T等价原理,低阻用S等价原理)符号一致;即测值随浅层

本文1985年6月27日收到。1986年10月29日收到修改稿。

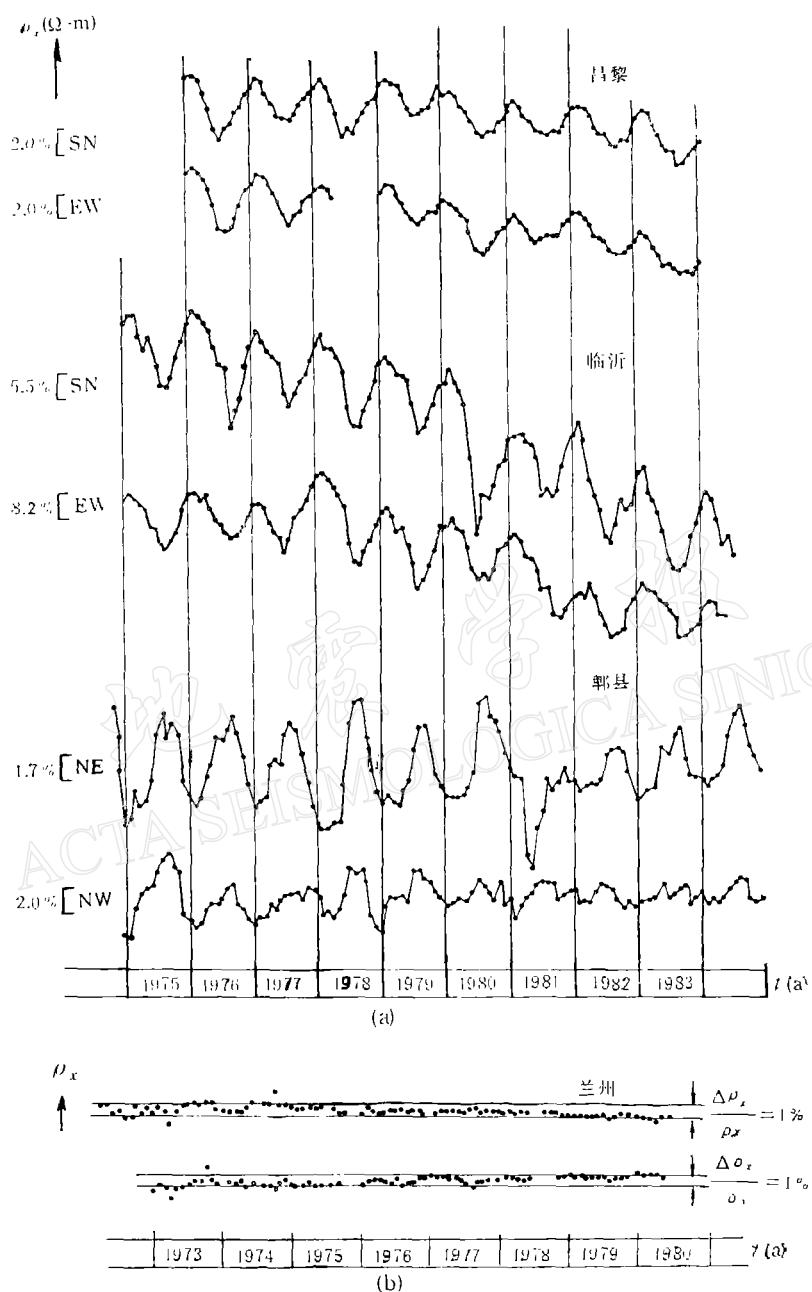


图 1 地电阻率季节变化 (a) 及无季节变化 (b) 的记录实例

Fig. 1 The examples of the recorded georesistivity with the seasonal variation
(a) and without seasonal variation (b).

电阻率的升高而增加,随浅层电阻率的降低而减小(参见图 4 实例);有的则正好相反,测值与浅层电阻率变化符号相反(参见图 5 实例)。为研究方便,我们将前者称为正常季节变化,后者称为反常季节变化。

图 1(b)给出兰州台多年地电阻率实测月均值曲线,从图可见,在所给出的 9 年记录

中,这个台并未出现季节性变化。在我们所研究的 79 个地电阻率台中,无季节变化(或变化幅度小于 2%)的台有 39 个(占 49%)。可见,季节变化并不是在任何条件下都必然出现的一种正常变化。

综上可见,不同台站的地电阻率季节变化除具有准年周期性外,位相可能相同也可能相反;与浅层电阻率变化符号的关系可能一致,也可能不一致(称反常);其变化幅度高的可达 20—30%,低的可能小于 2%,甚至无明显季节变化。由此可见地电阻率季节变化是相当复杂的。为了系统地分析其变化规律,给出统一的物理解释,有必要对这些复杂的季节干扰变化进行分类,找出恰当的干扰模型。

三、地电阻率季节变化类型分析及其干扰模型的选择

Archie 定律表明,地下岩层电阻率 (ρ_e) 与岩层中孔液电阻率 (ρ_0)、含水量 (ω)、孔隙度 (ϕ) 及孔液饱和度 (S) 有如下经验关系:

$$\rho_e = \alpha \rho_0 \phi^{-m} S^{-n} = \alpha \rho_0 \phi^{-m+n} \omega^{-n} \quad (1)$$

式中 α 为一常数, m 和 n 为岩层的结构指数。 m , n 反映孔液中导电液体的分布与连通情况。作者在文献[1]中指出,地下某一固定体积内的岩层在地震之前其电阻率 ρ_e 发生变化,主要是由于 m 和 n 随应力-应变场的变化所致。即假定孔液电阻率 ρ_0 及含水总体积不变时有:

$$\frac{d\rho_e}{\rho_e} = - \left(m \frac{d\phi}{\phi} + n \frac{dS}{S} \right) - (dm \cdot \ln \phi + dn \cdot \ln S) \quad (2)$$

对比(1), (2)式可知,如果 ρ_0 及含水量 ω 发生变化,比如随一年四季的交替而变化,则地电阻率将出现季节变化,并成为观测应力-应变所引起电阻率前兆变化的干扰。下面就具体分析这两个因素的影响特点,以便确定地电阻率季节干扰变化的模型。

气温的季节变化对 ρ_0 的影响。表 1 给出大气温度季节变化对不同深处的地温及电阻率的影响。表中按下式计算温度对电阻率的影响:

$$\rho_t = \rho_{18^\circ} [1 + \alpha_t (t - 18^\circ)]^{-1},$$

取温度系数 $\alpha_t = 0.025/^\circ\text{C}$, ρ_{18° 是 18°C 时水溶液的电阻率, t 是温度。从表 1 看出,气温对地温的影响随深度近似呈指数衰减,当大气年温差为 28.2°C 时,7m 深处的地温只变化 0.4°C ,引起电阻率的变化为 1%,且有 8—9 个月的相位滞后。

表 1 温度季节变化对不同深处电阻率的影响

Table 1 The resistivity affected by the seasonal variation in temperature at the various depths

深度(m)	0.0	0.6	3.0	7.0
年温差($^\circ\text{C}$)	28.2	18.7	5.2	0.4
滞后天数	0.0	9.0—21.6	93.5—106	247—267
对表层电阻率的影响(%)	41	32	12	1

当温度降至零度以下,孔液结冰时,可使岩层电阻率急剧升高,变化幅度可达数十倍乃至几个数量级,但在我国的具体条件下,冬季冻结、夏季融化的影响深度,一般仅限于表层 1—2m。

水中矿化度(亦可改变 ρ_0)和岩层中含水量随降雨、蒸发,特别是随地下水水位年动态而变化,从而有可能引起电阻率的季节变化。下面我们讨论一下影响深度。

根据水文地质资料,在一般情况下,常年处于水位以下的岩层的含水量及水中矿化度往往在地质时代中达到了动态平衡,一般比较稳定。因此水中矿化度及含水量的影响,主要只限于常年潜水水位以上的浅层。

综上分析,孔液电阻率 ρ_0 和岩层含水量 ω 的变化对地电阻率测值的影响,主要限于地表几米至几十米的浅层。为检验这一推论是否符合实际,我们详细地研究了四十余个地电台的地电阻率季节变化幅度与测量深度的关系,结果示于图 2。测量深度是用王新华等设计的地电断面高精度计算程序反演得出的^[2]。从图看出,各台地电阻率季节变化幅度随探测深度的增加呈指数衰减。地电阻率季节干扰幅度大于 9% 的台,其探测深度均小于 100m;而探测深度大于 300m 的台,干扰幅度均小于 2% (见图中左上和右下虚线包围区)。实际观测结果表明,引起地电阻率季节变化的因素确实在地表浅层,验证了前述推论的客观性。

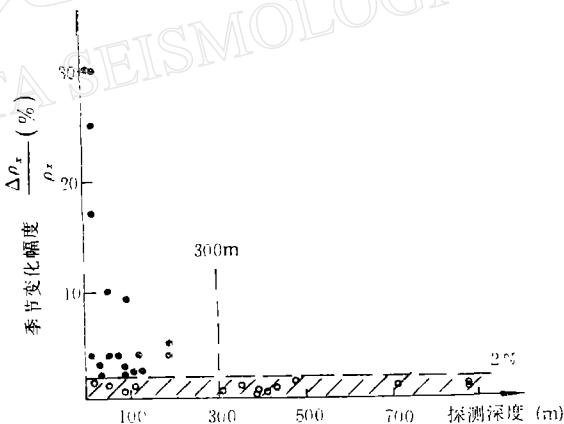


图 2 地电台地电阻率季节干扰幅度与探测深度的统计关系

Fig. 2 The statistic relationship between the amplitudes of the seasonal variation in georesistivity (ρ_0) observed at stations and their sounding depths.

既然地电阻率季节干扰因素仅限于地表浅层,故本文提出用以下四类等效干扰模型(三层地电断面,上部二层的电阻率及厚度的变化),来模拟地电阻率季节干扰。其参数的变化范围,则结合我国地电台的实际情况,选其代表值或影响最大的极限值。具体模型是:

1. (a) 类 第一层电阻率 ρ_1 发生季节变化模型。如降雨、灌溉条件的季节改变,气温及地表冻融的季节变化等干扰均属此类。本文给出 3m 厚的地表层电阻率改变一倍时的计算结果。

2. (b) 类 第一层厚度 h_1 变化模型。浅层地下水位随季节波动所造成的干扰属此类。本文取多数水位波动情况,即 h_1 变为 $(h_1 + 3)m$,且第二层厚度 h_2 变为 $(h_2 - 3)m$

为例计算。

3. (c) 类 第二电性层厚度 h_2 变化, 即其下界面变化模型。当地下水位埋藏较深(如几十米)时, 水位年动态变化所造成的干扰属此类。本文选埋藏 21 m 的含水层(第 3 电性层)顶面波动 3 m 的情况为例, 即 h_1 保持不变, h_2 变为 $(h_2 + 3)$ m 的情况。

4. (d) 类 第二电性层电阻 ρ_2 改变模型。地下水矿化度随季节变化, 或干旱地区蒸发量的季节变化等属此类。本文以 h_2 为 18 m, ρ_2 减小一半的情况为例给出理论计算结果。

四、各类干扰模型的地电阻率季节变化及其与地电断面的关系

当浅层地电断面按三层考虑时, 地面上实测视电阻率 ρ_a 与地下各层真电阻率和厚度有如下关系^[3]:

$$\rho_a = \frac{\rho_1}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}} \int_0^{\infty} \frac{1 - u(\lambda) e^{-2\lambda h_1}}{1 + u(\lambda) e^{-2\lambda h_1}} [J_0(\lambda \cdot \overline{AM}) - J_0(\lambda \cdot \overline{AN})] d\lambda \quad (3)$$

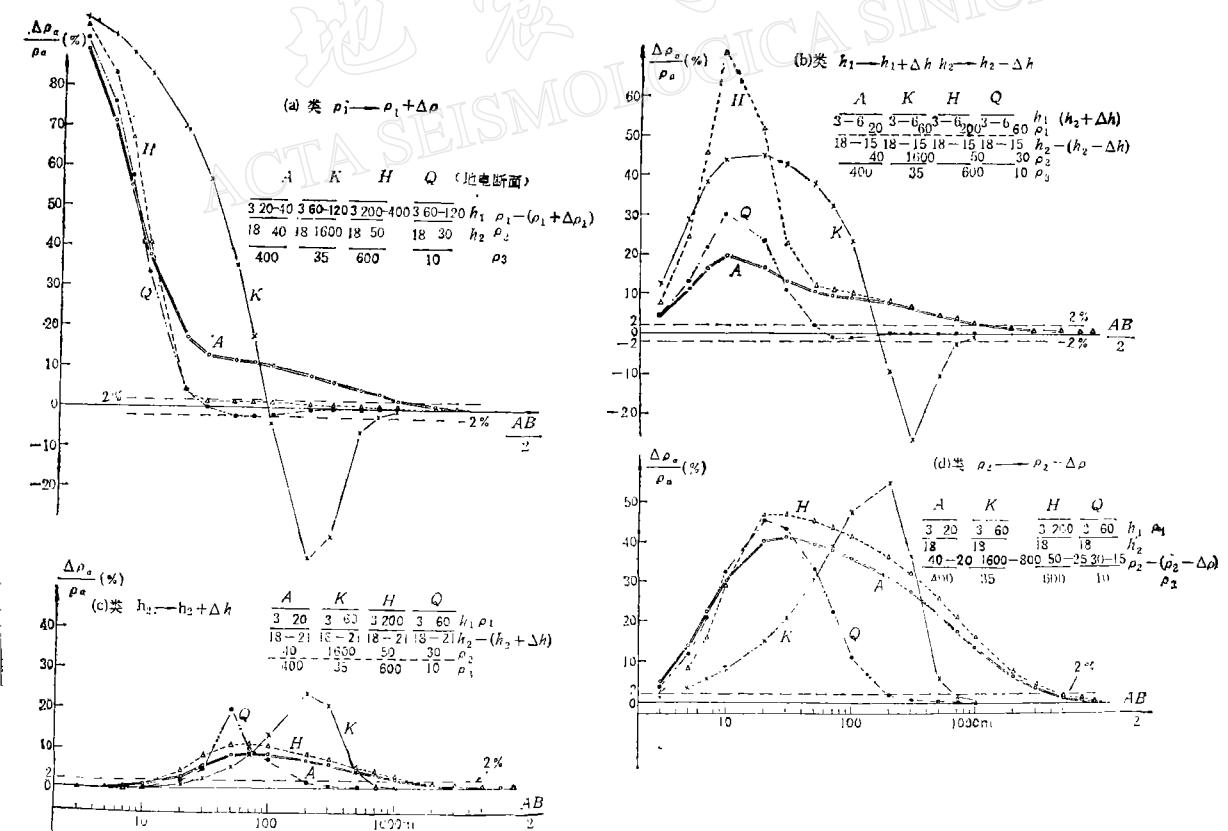


图 3 地电阻率 (ρ_a) 季节干扰各类模型 [(a), (b), (c), (d)]

理论计算结果

Fig. 3 Results of theoretic calculation for the a, b, c and d types of disturbance models for the seasonal variation in georesistivity (ρ_a).

式中

$$u(\lambda) = \frac{\rho_1 - \rho_2 \left(\frac{1 - u_2 e^{-2\lambda h_2}}{1 + u_2 e^{-2\lambda h_2}} \right)}{\rho_1 + \rho_2 \left(\frac{1 - u_2 e^{-2\lambda h_2}}{1 + u_2 e^{-2\lambda h_2}} \right)}$$

$$u_2 = \frac{\rho_2 - \rho_3}{\rho_2 + \rho_3}$$

我们利用(3)式变换 ρ_1 , h_1 , h_2 和 ρ_2 等参数, 在不同地电断面的情况下, 分别求出上述四类干扰模型对各种供电极距 (AB) 的干扰量级, 结果示于图 3. 地电断面有 A, K, H, Q 四种, 其中

A型: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$;

K型: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$;

H型: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$;

Q型: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$

分析得出:

1. (a) 类 对 A, K, H, Q 各种地电断面第一层电阻率 ρ_1 改变时, 计算结果如图 3(a) 所示:

(1) 此类干扰在小供电极距时最大, 对各种地电断面均可达 100% (在假设 ρ_1 变化一倍的情况下), 随 AB 极距的加大, 干扰幅度逐渐减小, 最后, 当干扰幅度小于观测误差 (0.5%) 时, 即认为趋于零.

(2) 地电阻率干扰幅度随 AB 极距增加而衰减的速率, 对各种地电断面不同. Q, H 型断面衰减最快, 当 $\frac{1}{2} AB$ 约为 100m 时即衰减至 2% 以下. K 和 A 型的则较慢,

$\frac{1}{2} AB$ 达 1000m 时才衰减至 2% 以下.

(3) Q 和 K 型地电断面, 当 $\frac{1}{2} AB$ 从某一距离 (Q 型从 30m; K 型从 90m) 开始, 出现反常季节干扰变化 (负值). 即这种地电断面的台站, 不同的供电极距, 可出现不同符号的季节干扰. 对给定模型条件下, 反常的干扰幅度, Q 型的较小 (2—3%), K 型的较大 (达 40%).

2. (b) 类 对各种地电断面, 第一层厚度 h_1 发生变化时, 季节干扰的计算结果如图 3(b) 所示:

(1) 干扰的极大值出现在 $\frac{1}{2} AB = (10—20)m$ 范围内 (与干扰界面深度有关), 远离此段季节干扰变化小, 最后趋于零. 衰减速率在极值左侧较快, 右侧较慢.

(2) 与 (a) 类一样, Q 和 K 型断面从某一 AB 极距开始季节干扰出现反常变化, 其幅度 K 型大 (最大达 20—30%), Q 型小 (最大为 2—3%), 出现最大反常变化的 $\frac{1}{2} AB$, Q 型的约在 100m, K 型的在 300m 附近.

(3) 在极值右侧, 干扰衰减速率 Q 型的最快, $\frac{1}{2} AB$ 超过 200m 时, 干扰趋于零 (指

小于0.5%，下同）；A，H，K型衰减较慢，在 $\frac{1}{2}AB$ 超过(1000—2000)m时，干扰才衰减至2%以下。

3. (c) 类 第二电性层下界面深度改变时，各种断面计算结果如图3(c)。

(1) 干扰极值约在 $\frac{1}{2}AB$ 为数十至数百米范围内。Q型极值点对应的 $\frac{1}{2}AB$ 较小，K型的较大。

(2) 干扰的极值幅度K型最大，其次为Q型，H，A型较小。在极值右侧，干扰幅度随 $\frac{1}{2}AB$ 的衰减，Q型最快，在 $\frac{1}{2}AB$ 为200m时即衰减至2%以下，500m时已趋于

表2 不同地电断面各类干扰模型理论季节干扰量计算结果

Table 2 The results of theoretic calculation for the various geoelectric sections and disturbance models of seasonal variation in georesistivity

干扰模型			(a)类 $h_1 \rho_1 \rightarrow \rho_1 + \Delta\rho$ $h_2 \rho_2$ ρ_3	(b)类 $h_1 \rightarrow h_1 + \Delta h$ $h_2 \rightarrow h_2 - \Delta h$ ρ_2 ρ_3	(c)类 $h_1 \rho_1$ $h_2 + \Delta h$ ρ_2 ρ_3	(d)类 $h_1 \rho_1$ $h_2 \rho_2 \rightarrow \rho_2 - \Delta\rho$ ρ_3
最大干扰幅度	幅度(%)	A	100	20	小于10	40
		K	100	40—50	20—30	50—60
		H	100	70	10	40—50
		Q	100	30	20	40—50
	出现时的 $\frac{1}{2}AB$ (米)	A	小于5	10±	60—10	20—50
		K	5	10—30	200—300	300
		H	5	10±	500—900	20—30
		Q	5	10±	50	20—30
干扰衰减情况	小于2%时的 $\frac{1}{2}AB$ (米)	A	1500	2000	1000—1500	5000
		K	700; 90—100	900; 160—170;	600	700
		H	30	1000—1100	1000—2000	5000
		Q	100; 30	100; 60—70	100—200	200
	小于0.5%时的 $\frac{1}{2}AB$ (米)	A	大于7000	5000	7000	10^4
		K	大于3000; 90—100	1000	1000—2000	10^3
		H	大于2000	3000	7000	10^4
		Q	大于300; 30±	200—300	1000	10^3
有否反常季节干扰	A	无	无	无	无	无
	K	有，最大幅(30—40)%	有，最大30%	无	无	无
	H	无	无	无	无	无
	Q	有，最大2%	有，最大2%	无	无	无

零。A, H 型大于 1500m 时小于 2%, 7000m 时小于 0.5%。

对 (c) 类模型计算结果表明, 与 (a), (b) 类不同, 对任何断面, 任何 AB 距地电阻率都不出现反常的干扰变化。

4. (d) 类 第二电性层电阻率变化, 结果示于图 3(d)。

(1) 与 (c) 类相似, 各种地电断面均无反常变化, 随干扰层位的加深, 干扰极值横坐标 $\left(\frac{1}{2} AB\right)$ 增大, 约在 $\frac{1}{2} AB$ 为几十至几百米之间。

(2) 干扰幅度的衰减, Q 型最快, $\frac{1}{2} AB$ 为 200m 时已小于 2%; K 型次之, 700m 小于 2%; A, H 型衰减最慢, 在 8000m 时才小于 2%。

与上述三类干扰模型比较, 此类干扰影响比较严重, 特别是 A, H 型地电断面的台站。

对各种地电断面以上四类干扰模型的计算结果列于表 2。综上分析, 对地电阻率季节干扰可得以下几点认识:

(1) 在给定的干扰模型条件下, 季节干扰幅度可达百分之几十, 甚至 100%; 在极值右侧, 随供电极距 AB 的增大, 干扰幅度衰减, 直至消失(在观测误差以内)。因此, 通常可用加大电极距(加大探测深度)的方法来消除季节干扰。但值得注意的是, 在个别台址条件下, 干扰衰减速率极慢时, 对我国当前观测条件(无大功率供电电源), 加大 AB 极距到需要的长度可能会遇到困难。

(2) 季节干扰极大值的横座标, 随干扰层深度和厚度的加大而加大, 通常压低干扰所需的 AB 极距也愈长。

(3) K 和 Q 型地电断面的台站受地表浅层干扰时, 从某一 AB 极距开始, 出现反常的季节干扰, 特别是 K 型断面的台址反常现象更为明显。当干扰为第 2 电性层(ρ_2, h_2)变化所引起时, 则不出现反常变化。换言之, 只有第一电性层 ρ_1, h_1 (包括因第一层下界面变化所引起的 h_2 变化)变化, 且是 K, Q 型地电断面的台址, 才从某一 AB 极距开始出现反常季节干扰。

(4) 对各类干扰模型, 均是 Q 型地电断面季节干扰衰减最快, 一般在 $\frac{1}{2} AB \geq 200$ m 时, 季节干扰便可压至 2% 以下, 即干扰较易排除, 其次为 K, H 型。对 A 型地电断面的台址, 排除季节干扰所需的 AB 极距最大。

下面将分析我国具体台站季节干扰的典型实例, 以检验本文上述理论计算结果。

五、地电阻率季节干扰典型实例及干扰起因分析

上节分析指出, 在我国地电台具体台址条件下, 除 Q 和 K 型断面在特定 AB 极距时浅层干扰出现反常季节变化外, 其它情况均出现正常季节干扰。本节选择正常季节干扰和反常季节干扰中有代表性的实例, 检验上节理论分析结果, 并讨论引起地电阻率季节变化的主要原因。

1. 正常季节干扰变化

图 4 曲线(1),(2)分别是嘉峪关台浅层水位和地电阻率实测月均值曲线, (3)是高台

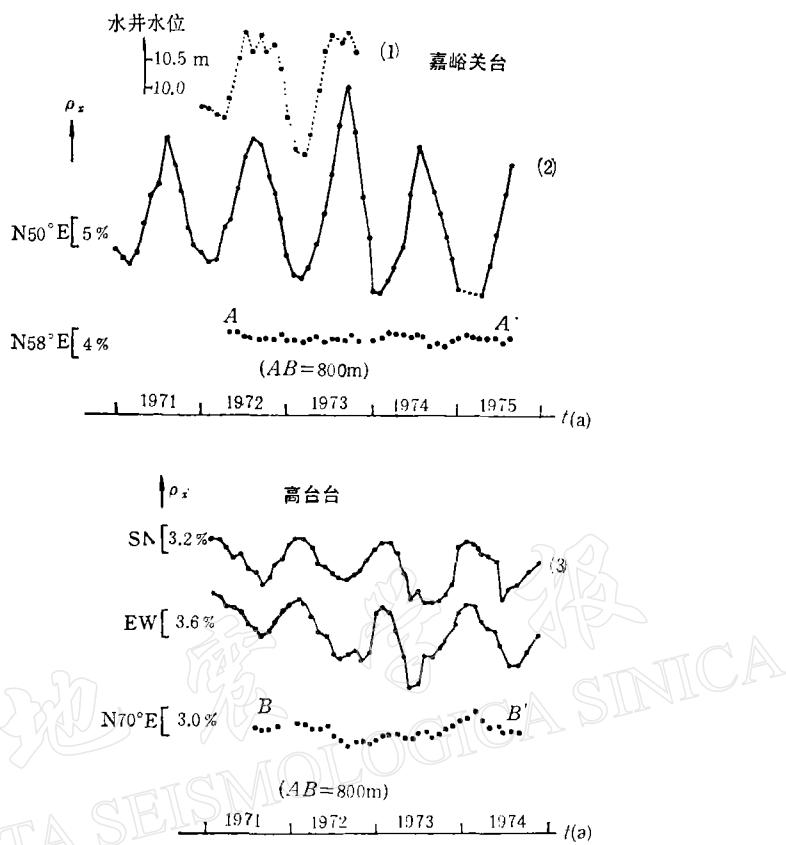


图4 实测地下水位变化(1)与地电阻率季节变化(2),(3)对比曲线及消除干扰后的地电阻率(AA', BB')曲线

Fig. 4 A comparison of the seasonal variations of ρ_x (2), (3) with the change in groundwater level (1) and with the recorded georesistivity after removing of disturbance.

台的地电阻率实测月均值曲线。两台相距约150km, 均位于我国河西走廊。从图可见, 虽然两台均有似年周期的季节干扰, 但其位相却恰好相反, 嘉峪关台2—4月为极小, 干扰幅度为18—22%; 高台台2—4月为极大, 幅度为4—6%。

(1) 嘉峪关台。该台地下水年动态属开采型, 7—9月份工、农业用水量大, 地下水位下降, 对比曲线(2),(3)可知, 水位上升时, 地电阻率下降; 水位减少时电阻率上升。地电阻率季节变化与浅层电阻率变化符号相同, 故属正常季节变化。该台地电断面属K型, 实测电测深曲线反演结果为:

$$\begin{aligned} h_1 &= 3.0 \text{m} & \rho_1 &= 60 \Omega \cdot \text{m} \\ h_2 &= 18.0 \text{m} & \rho_2 &= 1600 \Omega \cdot \text{m} \\ \rho_3 &= 35 \Omega \cdot \text{m} \end{aligned}$$

其中第一电性层为第四纪浮土, 第二电性层为高阻砾石层。含水层(砾石层底部)与下伏白垩纪地层共同表现为第三电性层。由于该台水位埋藏较深, 故按c类模型, 取平均干扰

幅度为 20% 时, 反演得水位变化 5m。这与台址附近嘉峪关市供水水源的水位变化¹⁾一致, 说明该台地电阻率季节变化是这一层水的年动态变化所引起的。参照表 2 与图 3 可知, 为压低这一干扰, 如果不移动台站的中心点, AB 极距应不小于 1500m。

台址考察表明, 在装置中心点附近有一断层, 断层西侧高阻层变薄, 地电断面变成 KH 型, 干扰水层消失, 只有地表薄层产生干扰。此时干扰模型属 α 类。从图 3 和表 2 结果可知, 当 $\frac{1}{2} AB = 400\text{m}$ 时, 季节干扰便可衰减至 2% 以下。

事实上中心点位于断层西侧的测点(与原测点相距不到 1km, 测线方位和极距相同), 地电阻率便未记到季节干扰变化(见图 4 虚线 AA')。这一观测事实, 既验证了上节的分析结果, 也进一步证实该台地电阻率季节变化的起因是水位的年动态变化。

(2) 高台台。台址考察发现, 该台地下水属冰川动态型, 7—9 月高山积雪融化, 河水补给充足, 水位上升, 地电阻率下降, 尽管地电阻率年变化形态与嘉峪关台的相反, 但同属正常季节变化。对该台电测深曲线反演结果为:

$$\begin{aligned} h_1 &= 4.0\text{m} & \rho_1 &= 24.5\Omega \cdot \text{m} \\ h_2 &= 30.0\text{m} & \rho_2 &= 45.0\Omega \cdot \text{m} \\ h_3 &= 400\Omega \cdot \text{m} \end{aligned}$$

台址下伏高阻花岗岩, 上覆第四纪沉积物(包括第一、二电性层, 总厚度为 34m), 第二电性层为含水砾石层。受河水补给影响, 地下水位变化对地电阻率的干扰相当于改变 h_1 , 按 b 类模型反演, 4.8% 的电阻率季节干扰相当于水位改变 4m, 这与实际水位变化相符。据此算出当 AB 极距达 4000m 时, 季节干扰幅度可压低到 2% 以下。在我国目前供电电源功率的情况下, 使用如此大的极距观测是有一定困难的。但该台避开干扰水层将中心点移至山上花岗岩出露地区进行实验, 结果在四年的试验观测中地电阻率未出现明显的季节变化(见图 4 下部虚线 BB')。这一实测结果进一步检验了上述理论分析结果的可信性, 同时也说明该台地电阻率季节变化仍是地表浅层地下水水位年动态变化所引起的。

综上分析认为, 虽然嘉峪关与高台两个台地电阻率季节变化反相, 但均是水位高时电阻率低, 水位低时电阻率高, 即地电阻率季节变化与浅层电阻率变化符号相同, 均属正常季节变化。反演计算及现场实验证实, 这两个台引起地电阻率季节变化的主要原因均是浅层水位的年动态变化。避开干扰水层(加大探测深度或移动中心点), 便有效地压低了地电阻率季节变化干扰。

2. 反常季节干扰变化

图 5(1) 给出郫县台地电阻率月均值和浅层地下水水位曲线(虚线)。从图看出, 该台电阻率季节变化, 与嘉峪关、高台的情况不同, 水位低时地电阻率也低, 水位高时电阻率也高。从该台实测电测深曲线[图 5(2) 实心圆点线]可知, 地电断面为 K 型, 该台受河水及灌溉影响表层电阻率变化明显, 干扰模型属 α 类, 从图 3 和表 2 可知, 在 $\frac{1}{2} AB$ 为 90—1000m 之间(该台实际 $\frac{1}{2} AB$ 为 368m), α 类干扰 K 型地电断面出现明显反常的季节变

1) 据中国西部地电阻率法台址环境图集, 该台布极区潜水位约在 20—30m。

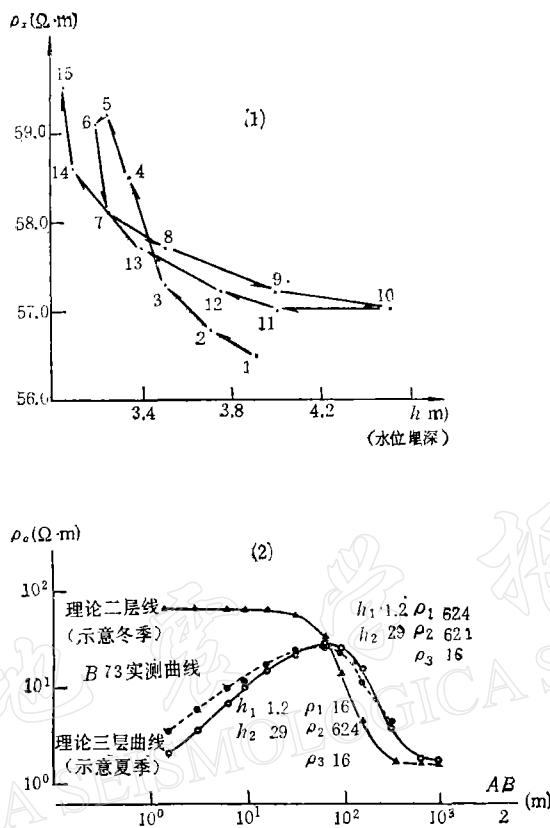


图5 郫县台地电阻率反常季节变化与浅层水位变化关系(1)及其理论解释(2)

Fig. 5 The abnormal seasonal variation in georesistivity and groundwater level observed at the Pixian station, Sichuan province (1) and the theoretic interpretation of the abnormal variation (2).

化。理论结果与实际结果一致。

为进一步分析这一结果, 图5(2)给出模拟该台枯水期和丰水期情况的理论电测深曲线与实际测深曲线的对比。空心圆点是示意的丰水期三层测深曲线。三角点模拟枯水期的测深曲线。从图看出, 三条曲线在 $\frac{1}{2}AB$ 为 80—90m 处相交, 在交点左侧枯水期视电阻率值高于丰水期视电阻率值, 即地电阻率出现正常季节变化; 但在交点右侧时, 则完全相反, 枯水期的视电阻率值却低于丰水期的视电阻率值, 即出现反常的季节变化; 当 $\frac{1}{2}AB$ 大于 1000m 时, 三条曲线趋于同一值, 即年变化消失。这一理论推测, 已为该台张保全、左正芳同志所做的小极距 ($\frac{1}{2}AB = 17.5\text{ m}$) 实验结果(图6)所证实。图中曲线(1)和(2)分别是 AB 为 736m 和 35m 的地电阻率曲线,(3)是该台地下水水位埋深曲线。从图可见, 对于长电极距水位升高时, 地电阻率升高; 对短电极距, 水位升高时, 地电阻率降低。

对该台地电断面反演求得水位埋深为 4.8 m。据二种电极距地电阻率季节干扰幅度

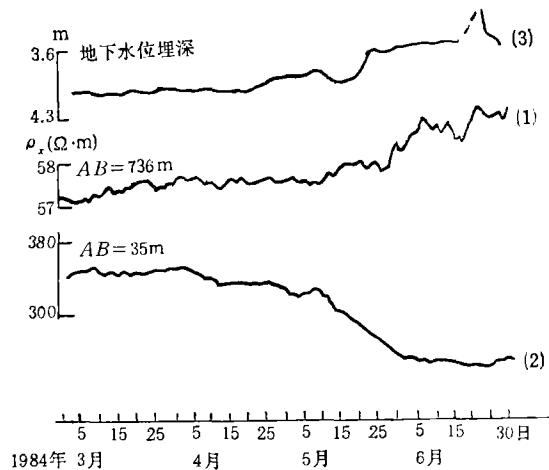


图 6 郫县台长、短极距的地电阻率(1), (2)与地下水埋深(3)变化对比图
(据张保全、左正芳提供)

Fig. 6 The georesistivity observed with the long current electrode spacing (1) and with the short one (2) and groundwater level observed at the Pixian station (from Zhan Baoquan and Zuo Zhengfang).

表 3 水位波动 2.5m 时理论与实测地电阻率季节变化对比

Table 3 A comparison of the resistivity changes calculated from the fluctuation of groundwater level by 2.5m with observed seasonal variation of resistivity

$\frac{1}{2} AB$ (米)	实测 $\Delta \rho_x / \rho_x$ 季节变化(%)	理论计算 $\Delta \rho_x / \rho_x$ 季节变化(%)
17.5	+29.4	+30.1
368.0	-7.1	-7.5
750.0		-2.1

(表 3) 反演得出水位变幅为 2.5m。这与该台河水涨落及灌溉所引起的水位变化¹⁾相符。表 3 中同时列出水位埋深 4.8m, 波动 2.5m 所引起的理论地电阻率变化。可见, 在二个实测电极距上, 理论值与实测值拟合得相当好。

因此, 我们认为, 郫县台的地电阻率反常季节变化仍然是表层地下水动态变化所引起的干扰。从表 3 还可得出, 只要供电极距 (AB) 大于 1500m, 季节干扰幅度便可压低至 2% 以下。

3. 无季节性干扰的分析

前面分析各类干扰模型指出, Q 型地电断面的季节干扰衰减最快, 电极距达数百米时, 地电阻率即无季节干扰。兰州台的观测便属这种情况, 参见图 1(b)。该台 $\frac{1}{2} AB$ 为 450m, 根据该台电测深曲线反演得上部三层地电断面的参数为:

1) 据中国西部地电阻率法台址环境图集, 该台丰水期潜水面埋深为 0.5m 左右; 枯水期潜水面降至 4m 左右。

$$h_1 = 3.5 \text{m} \quad \rho_1 = 80 \Omega \cdot \text{m}$$

$$h_2 = 15.0 \text{m} \quad \rho_2 = 30 \Omega \cdot \text{m}$$

$$h_3 = 300.0 \text{m} \quad \rho_3 = 9 \Omega \cdot \text{m}$$

结果表明,该台地电断面属Q型,探测深度约为320m。尽管在观测时段(1973—1981)中,该台气温、降雨、表层冻融、灌溉、地下水位的涨落等均有年动态变化,但从图1(b)中看出,在此期间地电阻率却未出现季节变化。从而验证了干扰模型理论分析的正确性。

综上得出,地电阻率季节变化典型实例分析证实干扰模型的结果是符合实际的。并进而得出,地电阻率季节变化主要是浅层地下水年动态变化所引起的。因此,只要加大探测深度,避开干扰水层,便可有效地压低这种干扰对地电阻率的影响。

六、结语

通过理论计算、现场观测及实验结果的分析,对目前我国地电阻率观测中所遇到的主要干扰——季节变化,得出以下几点认识:

1. 地电阻率季节变化是在探测深度偏浅的情况下,浅层(地下一、二十米内)电阻率变化所引起的一种干扰。其幅度,通常随供电极距的加大而减小,直至消失(在观测误差以内)。其衰减的速度依台站地电断面而异,Q型断面衰减较快,K和H型断面次之,A型断面衰减较慢。因此,使用足够大的电极距,地电阻率法有可能在足够低的干扰背景上探索地震前兆。

2. 从某一AB极距开始,对K,Q型地电断面,表层干扰可引起地电阻率反常季节变化,尤以K型断面的台站更为明显。A,H型断面或干扰层较深的K,Q型地电断面的台站,则不出现反常的季节干扰变化。

3. 具体分析地电阻率正常和反常季节干扰以及无季节干扰的典型实例,结果表明浅层地下水位年动态变化是地电阻率季节干扰的主要原因。利用本文提出的四类干扰模型,结合台站不同极距实测季节干扰幅度,可以反演确定干扰层的层位、水位变幅等,进而为选取压低季节干扰的技术方案提供依据。

参考文献

- [1] 钱复业、赵玉林,唐山地震前震中周围地壳浅部电阻率变化的原因,地震科学,1981,2: 21—25.
- [2] 王新华、刘小伟,多层地电断面电阻率的高精度计算法,地震预测——地电方法论文集,福建科学技术出版社,1985.
- [3] S. H. 沃德,地球物理用电磁理论,地质出版社,1978.

ANALYSES OF THE SEASONAL VARIATION OF DISTURBANCE IN GEORESISTIVITY

QIAN FUYE, ZHAO YULIN AND XU TONGCHUN

(Institute of Geophysics, State Seismological Bureau)

Abstract

Four models for the seasonal variation of disturbance in georesistivity are presented in the light of specific conditions in China. As the result of theoretic calculation of the models and in comparison of the calculated results with the seasonal variations observed at 40 georesistivity stations, the following points are found: (1) the seasonal variation of georesistivity is caused by the change in resistivity of the surface layer, especially by the annual variation of groundwater level when the sounding depth is too shallow. This is one of the interference changes and is irrelevant to the occurrence of earthquakes. The feature and amplitude of the seasonal variation depend on the types of disturbance models, geoelectric sections and the sounding depth. (2) The seasonal variation of georesistivity usually has the same sign as that of the change in resistivity of shallow layer and thus the normal seasonal change appears. However, as far as the K or Q type of geoelectric section are concerned, the abnormal seasonal variation in georesistivity starts from a certain electrode separation when the interference layer is located in the surface layer. (3) Both abnormal and normal seasonal variations in georesistivity will be smaller than 2% when the sounding depth is deeper than 300 m. Therefore, the seasonal variations can be removed or limited when the location of observation is properly chosen and larger electrode spacing is used, so that the sounding depth is large enough.