

地电阻率观测中一类反常年变化的分析讨论

赵和云 张文孝 杨明芝
(宁夏地震局)

摘 要

本文从理论和实际观测资料方面讨论了我国某些地电阻率台站出现的冬天低值、夏天高值的反常年变化,指出出现这类年变化的原因可能有三种,其中最主要的是在特殊地电断面上,由于表层介质电性变化对地电阻率测量以反向贡献所致,这是表层电阻率变动引起地下电流密度非线性变化在特殊地电断面上的反映。这种特殊地电断面的标志就是表层介质的响应系数出现负值。此外,本文还讨论了在资料处理时,这类年变的消除方法。

在我国目前使用的极距条件下,不少地电阻率台站的 P_s 值在无震时也出现似年周期的不太规则变化,通常称之为“年变化”。年变化据其形态大致可分作三类:一类年变形态是 P_s 夏季为低值,冬季为高值。这类年变化一般已被人们所熟知;另一类与上述形态相反, P_s 夏季出现高值冬季出现低值,这类年变化一般不易直观理解;此外还有一类不太规则的年变化。文献〔1〕〔2〕认为台址表层岩土物理化学状态的变化导致了 P_s 的年变,并且从二、三层剖面出发讨论了年变幅度、形态与台址电性结构的关系,指出增大供电极距可减小年变幅度。本文主要是对 P_s 值为夏高冬低的这类年变化(本文称为反常年变化)进行进一步的研究,从理论计算上、实地观测试验上探讨其成因并提出相应的消除方法。

一、特殊地电断面上 P_s 的反常年变化

当台址下伏岩层的电性结构为某些特殊的搭配关系时,在一定的极距条件下进行观测,观测值 $\Delta\rho_s/\rho_s$ 就可能与表层 $\Delta\rho_1/\rho_1$ 反向而出现反常年变化。其理论简述如下:

在水平层状地电断面上,用四极对称装置观测时,由电法理论知:

$$\rho_s \Delta \rho_s = f(\rho_1, \rho_2 \cdots \rho_n, h_1, h_2 \cdots h_{n-1}) \quad (1)$$

其中 $\rho_1, \rho_2 \cdots \rho_n$ 为各电性层的电阻率, $h_1, h_2 \cdots h_{n-1}$ 为各层之厚度。假定地电阻率观测中 ρ_s 随时间的变化量仅由 $\rho_1, \rho_2 \cdots \rho_n$ 的变化引起,则取(1)式的全微分得到:

$$\Delta \rho_s = \frac{\partial f}{\partial \rho_1} \Delta \rho_1 + \frac{\partial f}{\partial \rho_2} \Delta \rho_2 + \cdots + \frac{\partial f}{\partial \rho_n} \Delta \rho_n$$

改写上式得：

$$\frac{\Delta \rho_s}{\rho_s} = \left(\frac{\partial f}{\partial \rho_1}, \frac{\rho_1}{\rho_s} \right) \frac{\Delta \rho_1}{\rho_1} + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial \rho_n}, \frac{\rho_n}{\rho_s} \right) \frac{\Delta \rho_n}{\rho_n} \quad (2)$$

$$\text{令} \quad S_i = \frac{\partial f}{\partial \rho_i} \cdot \frac{\rho_i}{\rho_s} \quad i = 1, 2, \cdots, n \quad (3)$$

$$\text{则(2)式可写成:} \quad \frac{\Delta \rho_s}{\rho_s} = S_1 \frac{\Delta \rho_1}{\rho_1} + S_2 \frac{\Delta \rho_2}{\rho_2} + \cdots + S_n \frac{\Delta \rho_n}{\rho_n} \quad (4)$$

其中 S_i ($i = 1, 2, \cdots, n$)反映了在一定电性结构下,各层电阻率的相对变化量对 $\Delta \rho_s / \rho_s$ 贡献的“权”,称之为响应系数。由(3)式可见 S_i 主要取决于地电断面的电性结构,其次还与极距大小有关。

对 $n = 2$ (二层)和 $n = 3$ (三层)以及部分三层以上的水平层状断面的响应系数进行计算,发现在三层及三层以上的情况下,当为某些特殊的电性结构时, S_i 会出现负值(见图6)。这就是说在这些特殊的地电断面上, $\Delta \rho_1 / \rho_1$ 对 $\Delta \rho_s / \rho_s$ 的贡献将在相位上与 $\Delta \rho_1 / \rho_1$ 本身发生 180° 的变化。在无震时,若认为 $S_2 \Delta \rho_2 / \rho_2 + S_3 \Delta \rho_3 / \rho_3 + \cdots + S_n \Delta \rho_n / \rho_n$ 时,则

$$\frac{\Delta \rho_s}{\rho_s} = S_1 \frac{\Delta \rho_1}{\rho_1} \quad (5)$$

由此可以看出在 $S_1 < 0$ 的台, ρ_1 以夏低冬高变化时, ρ_s 则会出现夏高冬低的反常年变化。一般来说,表层介质的电阻率 ρ_1 ,由于受降水、气温、灌溉等因素影响,其电阻率变化规律总是夏天处于低值、冬天处于高值,因此 S_1 为负值的台站,必须会出现反常年变化。

以下用两个实际例子加以说明:

(1) 宁夏海原台

图1为海原台多年的 ρ_s 曲线,具有比较典型的反常年变形态:冬天低,夏天高,变化周期亦较稳定。

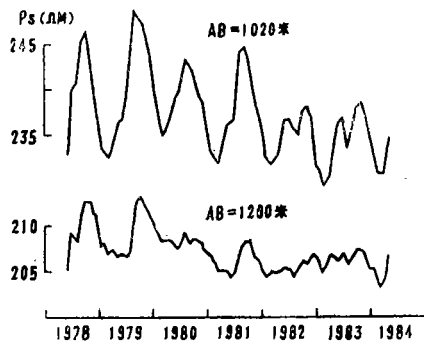


图1 海原台 ρ_s 曲线

Fig. 1 The ρ_s -curve of Haiyuan station.

根据该台的电测深曲线及测区内一深400多米的钻孔资料,得到其地电断面结构为:

$\rho_1 = 400 \Omega M$ (夏初所测值), 厚度 $h_1 = 1.6$ 米, 表土; $\rho_2 = 2280 \Omega M$, $h_2 = 8.2$ 米, 为表层沙砾、沙卵石层; $\rho_3 = 1360 \Omega M$, $h_3 = 77.2$ 米, 为沙卵石夹薄层沙粘土; $\rho_4 = 350 \Omega M$,

$h_4 = 234.0$ 米, 为砾石和粘土互层; $\rho_5 = 27\Omega\text{M}$, 为沙粘土层和等三系砂泥岩层顶部。

根据(4)式, 对于 $AB = 1200$ 米算得:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta\rho_s}{\rho_s} &= -0.040 \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} - 0.027 \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} + 0.009 \frac{\Delta\rho_3}{\rho_3} + 0.910 \frac{\Delta\rho_4}{\rho_4} \\ &\quad + 0.148 \frac{\Delta\rho_5}{\rho_5} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

对于 $AB = 1020$ 米算得:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta\rho_s}{\rho_s} &= -0.045 \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} - 0.028 \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} + 0.076 \frac{\Delta\rho_3}{\rho_3} + 0.905 \frac{\Delta\rho_4}{\rho_4} \\ &\quad + 0.092 \frac{\Delta\rho_5}{\rho_5} \end{aligned} \right\}$$

可见两种极距下, 第一、二层的响应系数均为负值。通常认为地表的干扰强度随深度增加而减小, 当超过一定深度时(一般为7~8米以下), 地表的温湿影响已很小, 因此在无孕震年份可以认为第三层以下(10米以下) $S_3\Delta\rho_3/\rho_3 + S_4\Delta\rho_4/\rho_4 + S_5\Delta\rho_5/\rho_5 = 0$, 这时 ρ_5 的变化则完全由第一、二层的电阻率随时间的变化来决定, 即由下式

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta\rho_s}{\rho_s} &= -0.040 \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} - 0.027 \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} \quad (AB = 1200\text{米}) \\ \frac{\Delta\rho_s}{\rho_s} &= -0.045 \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} - 0.028 \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} \quad (AB = 1020\text{米}) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

决定。不难看出, 由于响应系数均为负值, $\Delta\rho_s/\rho_s$ 与表层的电阻率变化反向。

为了检验以上的分析结果, 我们从1984年2月在海原台 $AB = 1020$ 米的同方向上进行了 $AB = 15$ 米、 $MN = 3$ 米的短极距观测*。

至今已经历了冬、春、夏三个季节约有四个月的资料(图2)。虽时间不太长, 但已清楚地看出 ρ_{s-15} (即 $AB = 15$ 米所测值)与 ρ_{s-1020} ($AB = 1020$ 米所测值)反向。 ρ_{s-15} 由冬至夏逐渐降低, 而 ρ_{s-1020} 曲线却逐渐上升。若 ρ_{s-15} 所反映的表层电阻率变化为源, 则根据(7)式, 必然会引起出现反常变化的 ρ_{s-1020} 之果来。

由(7)式还可以看出, $AB = 1020$ 米的表层响应系数绝对值要比 $AB = 1200$ 米的大。这就是说, 在同一表应电阻率变化量下, $AB = 1020$ 米的年变幅度应比 $AB = 1200$ 米的大。由图1可见, 这与实际情况相符。

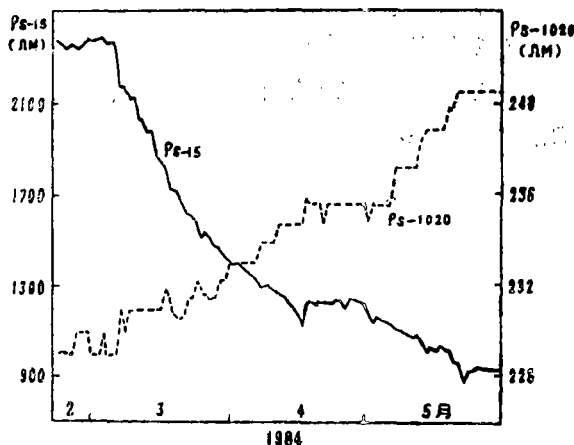


图2 海原台长短极距 ρ_s 对比图
Fig. 2 The contrast between ρ_s -curves observed with long, short electrode spacing at Haiyuan station.

对 ρ_{s-1020} 的五日均值与 ρ_{s-15} 的五日均值作线性回归, 得到:

$$\rho_{s-1020} = 244.0 - 0.00664017\rho_{s-15} \quad (8)$$

其相关系数 $r = 0.92$, 微分(8)式得到: $d\rho_{s-1020}/d\rho_{s-15} = -0.00664017$, 变换(5)式得到:

$$S_1 = \frac{d\rho_s}{d\rho_1} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_s} \quad (9)$$

我们取 ρ_1 为1983年的年均值 $234.7\Omega\text{M}$, 代入(8)式算得 $\rho_{s-15} = 1400.6\Omega\text{M}$ 作为 ρ_1 , 再以 $d\rho_{s-1020}/d\rho_{s-15}$ 代替 $d\rho_s/d\rho_1$, 可算得 $S_1 = -0.040$, 与理论值 $S_1 = -0.045$ 相差不大。由此不难看出, 在这类反常年变的台站, 选择适当的短极距同时进行观测, 并且按 $\Delta\rho_s/\rho_s = S_1\Delta\rho_1/\rho_1$ 的理论公式计算或进行实测资料的回归分析, 都可很好地消除年变。

(2) 四川郫县台

图3为郫县台的 ρ_s 曲线, 也具有比较典型的反常年变形态。

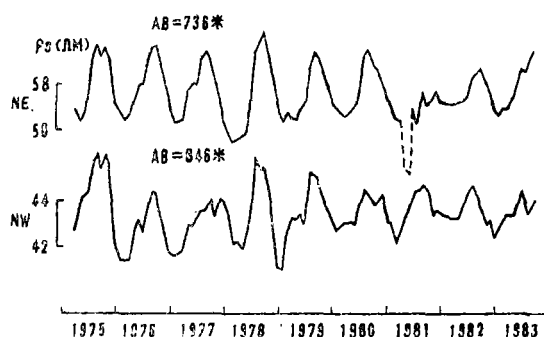


图3 四川郫县台 ρ_s 曲线

Fig. 3 ρ_s -curve of Pixian station.

根据该台的电测深资料和台站附近的钻孔资料, 得到其地电断面的结构为: $\rho_1 = 80\Omega\text{M}$, 厚度 $h_1 = 4.6$ 米, 为第四系复盖层; $\rho_2 = 450\Omega\text{M}$, $h_2 = 36.8$ 米, 为白垩系底砾岩; $\rho_3 = 39\Omega\text{M}$, 为侏罗系红砂岩。基本上是各向同性。

对于 $AB = 736$ 米的极距, 算得:

$$\frac{\Delta\rho_s}{\rho_s} = -0.187\frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} + 0.290\frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} + 0.897\frac{\Delta\rho_3}{\rho_3}$$

对于 $AB = 846$ 米的极距, 算得:

$$\frac{\Delta\rho_s}{\rho_s} = -0.119\frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} + 0.167\frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} + 0.952\frac{\Delta\rho_3}{\rho_3}$$

(10)

在两种极距下, S_1 都为负值。同样, 在无孕震时认为第二层、第三层的电阻率变化量很小, 近似为零。这时 ρ_s 则由:

$$\frac{\Delta\rho_s}{\rho_s} = -0.187\frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} \quad (AB = 736\text{米})$$

$$\frac{\Delta\rho_s}{\rho_s} = -0.119\frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} \quad (AB = 846\text{米})$$

(11)

决定。根据上式, $\Delta\rho_1/\rho_1$ 与它所导致的 $\Delta\rho_s/\rho_s$ 的变化反向。

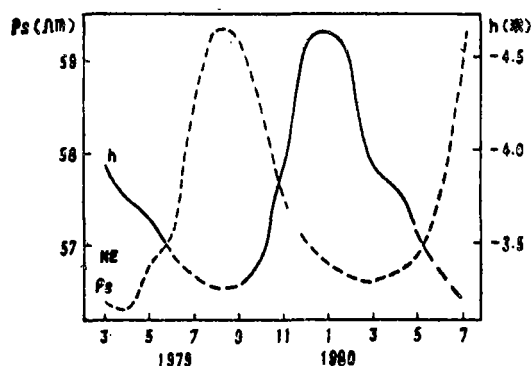


图4 郫县台 ρ_s 和水位 h 的对应关系

Fig. 4 Relationship between ρ_s and under-ground water table h at Pixian station.

图4给出了郫县台 ρ_s 与地下浅层水位的变化曲线。由图可见, 地下浅层水位在夏季变浅, 表层电阻率 ρ_1 受水的影响必然要下降, 这时装置所测的 ρ_s 值却上升; 反之, 冬季水位下降时, ρ_1 要上升, 然而装置测得的 ρ_s 值却下降。这从另一侧面证实了在 S_1 为负值的台址上, $\Delta\rho_s/\rho_s$ 确与 $\Delta\rho_1/\rho_1$ 反向。

图5是郫县台短极距 ($AB=35$ 米, $MN=15$ 米) 和 $AB=736$ 米极距的 ρ_s 曲线。由图可见, 两条曲线的关系与海原台长短极距的 ρ_s 变化规律完全一致。这就表明: 在 S_1 为负值的特殊电性结构的台站上, $\Delta\rho_s/\rho_s$ 与引起它的 $\Delta\rho_1/\rho_1$ 反向决非偶然。

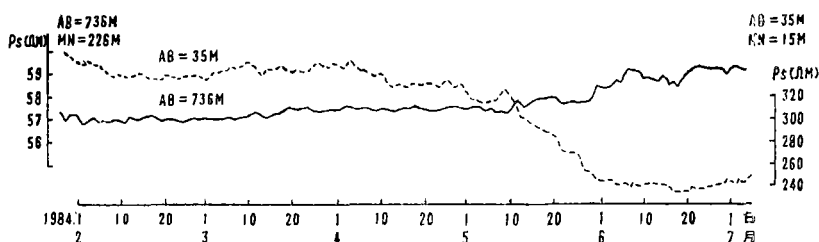


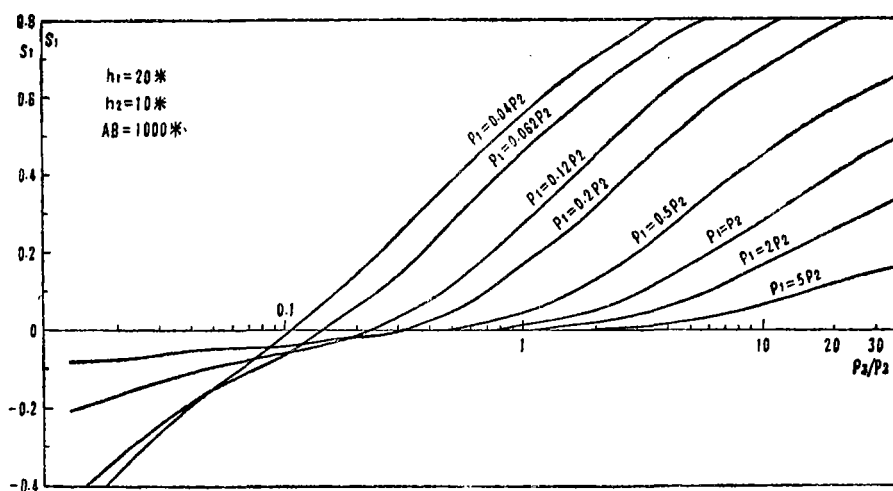
图5 郫县台长短极距 ρ_s 曲线对比图

Fig. 5 The contrast between ρ_s -curves observed with long, short electrode spacing at Pixian station.

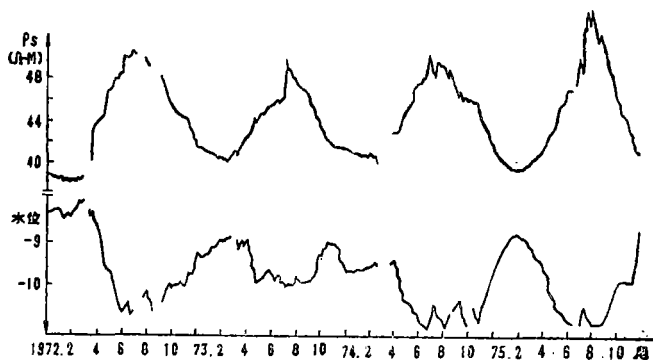
综上所述, 当台站表层岩土受温湿变化影响而出现夏低冬高的电阻率变化时, 在某些特殊的地电断面上, 用一定极距的四极装置观测到与表层相反的 ρ_s 变化。这种反常年变化完全是由台址的特殊电性结构所决定的。这种特殊地电断面的标志就是表层介质的响应系数为负值。这是当表层电阻率变化时, 引起地下电流密度分布非线性变化在特殊地电断面上的反映。据目前我们的计算结果, 在三层断面中, K型、Q型断面都有可能出现 S_1 为负值的情况, 但K型又较之明显 (图6)。这里需要着重指出: 并不是所有K型、Q型断面的 S_1 都为负值, 仅是某些特殊情况, 因此出现这类年变的台站要少一些 (约占全国地电台站的十分之一)。

二、反常水位动态变化引起反常年变

在地电阻率测量中, 水是最活跃的因素。因此地下水位的变化必然要影响到 ρ_s 变化。众所周知, 嘉峪关台 (旧) 的反常年变化就是由地下水位的反常变化引起的。据文献 [4] 的研究, 嘉峪关台附近水动态属开采型。夏季工业用水量加大, 水位下降, 此时该台电阻率呈

图6 S_1 与剖面参数的关系Fig. 6 Relationship between S_1 and the parameters of the geoelectrical profile.

极大值，冬天用水量少，水位上升，而 ρ_s 呈极小值。图7给出水位与 ρ_s 曲线的关系，水层埋深38米。从图中可以看出 ρ_s 的变化与水位变化曲线的形态是很相似的。

图7 嘉峪关(旧)台 P_s 与地下水位变化曲线Fig. 7 Relationship between p_s and underground water table h at Jiayuguan station.

宁夏西吉台北西75°测道的反常年变也属此种类型。在其电极附近有一低于埋极地表二十余米的小型水库。水库从7~8月份之后开始蓄水，直至春季2~3月份水库蓄水量最多，因而埋极地表二十余米以下地层温度亦随之逐渐增高，这时 ρ_s 出现低值；随春季农忙开始，逐渐放水， ρ_s 亦逐渐升高，直至盛夏，水库水基本放完， ρ_s 达最大值。

对于这种反常年变，一般都采取回归分析的方法加以改正。但有时水动态不易掌握，因而最好在选台址时，避开水动态多变的地区。

三、深水型台站的反常年变

据毛可对新疆八个地电阻率台站的研究*, 发现在常年干旱极少降雨的地区, 当台址选在山前冲积洪积扇上时, 其下有颗粒很粗的冲洪积物, 结构松散, 因而地下水埋藏较深, 一般超过数十米。这时就形成了地下水位以上有高阻屏蔽层的“深水位型”台址。新疆小地窝铺台就是这种类型的典型代表。在这种台址形成反常年变的原因是由于浅部有高阻层, 因而高阻层以上的表层电流密度增大, 表层的电性变化对整个剖面视电阻率的影响增强。在七、八月份气温增高时, 地表水分蒸发量增大(但补给甚少), 土壤中湿度降低, 导致表层电阻率升高, 因而视电阻率 ρ_s 也随之升高。小地窝铺台1973年NS道 ρ_s 与同年气温的相关分析表明: 其相关系数为0.83, 而与地下水位相关性较差, 仅为0.74。因此在这种干旱地区的深水型剖面中, 气温可能是造成反常年变的首要原因。

四、结 论

由上讨论, 可概括出夏高冬低的反常年变的产生原因大致有三方面。其中最主要是在特殊电性结构的断面上, 由于表层介质电性变化对地电阻率测量以反向贡献所致, 这种特殊电性结构的台址标志是表层的响应系数 S_1 为负值, 因此可利用适当的短极距监测表层电阻率变化, 以理论公式消除之。由此可见, 反常年变实质上仍是台址表层岩土物理、化学状态变化导致的一种年变化。

(本文1984年6月18日收到)

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, Vol. 24, № 1, 1981.
- [2] 金安忠, 地电阻率正常变化与电剖面的关系, 地震学报, Vol. 3, № 4, 1981.
- [3] 钱家栋、陈有发、金安忠, 地电阻率法在地震预报中的应用, 地震出版社, 1983.
- [4] 钱复业等, 形变电阻率法的干扰因素, 地震战线, № 6, 1979.

* 毛可, 新疆地电阻率观测中台址问题的讨论。

DISCUSSION ON A KIND OF YEARLY CHANGE IN APPARENT RESISTIVITY OBSERVATION

Zhao Heyun Zhang Wenxiao Yang Mingzhi
(*Seismological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region Yinchuan, China*)

Abstract

In this paper, from theoretical calculation and practical observation data, we discussed a kind of yearly change which presents low value in winter and high value in summer at some earth resistivity stations in our country. It is pointed out that there may be three kinds of reasons leading to such a yearly change. Among them the principal one is the contrary contribution of resistivity variation in overlayer medium to observed apparent resistivity for some of special geoelectrical profiles, in which the variation of overlayer resistivity results in a non-linear variation of underground current density in a special geoelectrical profile. The overlayer response coefficient shows the negative, which is a very apparent mark for such a special geoelectrical profile. In addition, the eliminating approach about this kind of yearly change is also discussed.