

贾立峰、张国苓、乔子云等,2016,河北兴济台地电阻率年变特征分析,中国地震,32(1),127~133。

河北兴济台地电阻率年变特征分析

贾立峰¹⁾ 张国苓¹⁾ 乔子云¹⁾ 石富强²⁾ 郭学增¹⁾

1) 河北省地震局,石家庄市槐中路 262 号 050021

2) 陕西省地震局,西安 710068

摘要 基于电测深曲线反演结果,利用地电阻率转换函数的递推公式定量模拟分析了地下水位对兴济台地电阻率的影响。结果表明,地下水位下降会造成地电阻率上升,这与兴济台 N30°E 向的地电阻率观测结果相符;N60°W 向的地电阻率的趋势变化与 N30°E 向的相反,且年变幅较大,这是由于测区供电极和测量极之间存在因取土而积水成坑这个局部异常体引起的。

关键词: 地电阻率 兴济台 年变 地下水位 转换函数 数值模拟

[文章编号] 1001-4683(2016)01-0127-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

自 1966 年我国开展地电阻率观测以来,在大震前记录到的显著的中短期异常多以趋势性下降变化、破年变为主(钱复业等,1980、1982;桂燮泰等,1989;钱家栋等,1998;Lu et al, 1999;赵玉林等,2001,;张学民等,2009;杜学彬,2010)。在中国地电测量中,超过 70% 的台站记录到准年周期性的地电阻率变化(简称年变化或年变)。研究发现,年变主要与地电台址电性断面、水文地质条件、布极极距等有关(金安忠,1981;王志贤,1981),经理论模型计算和相关性分析认为,年变是在探测深度偏浅时,降雨、地表潜水位年变动引起地表表层介质电阻率的变化,是一种与地震活动无关的干扰变化(钱家栋等,1985;张学民等,1996;张学民,2004;刘允秀等,1999;解用明等,2005;宋晓磊等,2006;严玲琴等,2013)。大多数台站的地电阻率年变形态呈“冬高夏低”的“正常年变”(如昌黎台、大同台、阳原台等),台址表层介质的地电阻率相对变化的影响系数为正,降水多的夏季,地表潜水位较高,表层介质含水率升高,表层真电阻率较低,使得地电阻率观测值低,而冬季降雨量少,地电阻率观测值较高。部分台站年变呈“冬低夏高”的“反向年变”形态,如宁夏海原台、四川郫县台、甘孜台,当台站表层介质电阻率的影响系数为负时(赵和云等,1985、1987;Lu et al,2004;解滔等,2013a),冬季表层介质电阻率升高,地电阻率观测值降低;而地下水位反常年变化也可引起地电阻率的反向年变,如隆尧大柏舍台、嘉峪关(旧)台、宁夏西吉台,这与当地的农田灌溉、工业用

[收稿日期] 2015-03-28; [修订日期] 2016-01-04

[项目类别] 国家自然科学基金(41274079)和中国地震局震情跟踪定向工作任务青年课题(2015010403)共同资助

[作者简介] 贾立峰,男,1981 年生,硕士,主要从事电磁学和流磁等方面研究。E-mail:729102262@qq.com

张国苓,通讯作者,女,1986 年生,硕士,主要从事电磁学和地震预测研究。

E-mail:zhangguoling002@163.com

水、水库蓄水有关(张国苓等,2013;钱复业等,1987)。还有一类年变化,表现为同一台站不同测道地电阻率年变形态相反,如江苏新沂台、四平台,这与测区地下介质的横向不均匀性有关(解滔等,2013b,2014)。

兴济台地电阻率 $N30^{\circ}E$ 向年变形态不明显, $N60^{\circ}W$ 存在“冬低夏高”的“反向年变”,年变幅变化较大,最大为1%,且2个测向的变化趋势相反。该区域地下水位较浅,夏季接近地表,冬季在地表下2m左右,存在冬低夏高的年变规律。本文通过对兴济地电台周围地下水位进行调查,搜集了距离台站10km处姚官屯地下水位月均值变化资料^①和本地的月降雨量资料^②,并与地电阻率进行对比分析。结合兴济台地下介质电测深曲线,利用转换函数法计算地电阻率变化特征;通过对环境干扰因素的调研,分析局部异常体对年变形态和幅度的影响。

1 观测台站简介

兴济地电观测站位于河北省沧州市以北约25km的兴济镇东3km处,处于沧县隆起的东翼斜坡上(图1(a)),与东侧的黄骅拗陷相邻,位于沧东断裂附近,沧东断裂带走向NNE,向北延伸与蓟运河断裂相交。测区地层以奥陶系灰岩为主,夹第三系页岩、砂岩,上覆第四系,下为松散沉积层。兴济台地电阻率观测始于1982年1月1日,目前观测仪器为ZD8B地电仪,布设 $N30^{\circ}E$ 、 $N60^{\circ}W$ 2个测向, $N30^{\circ}E$ 向平行沧东断裂, $N60^{\circ}W$ 向跨断裂布极,采用对称四极装置,供电极距 A_2B_2 和 A_4B_4 均为2.0km,测量极距 M_2N_2 和 M_4N_4 均为0.5km(图1(b))。测区环境较好,周围为农田,地表无河流、水库, $N60^{\circ}W$ 向地电阻率测区供电极 B_4 和测量极 N_4 之间有个取土积水坑,本地风沙较大,每年3~4月份大风引起线路摆动,切割磁力线,对地电阻率的观测精度有一定影响。

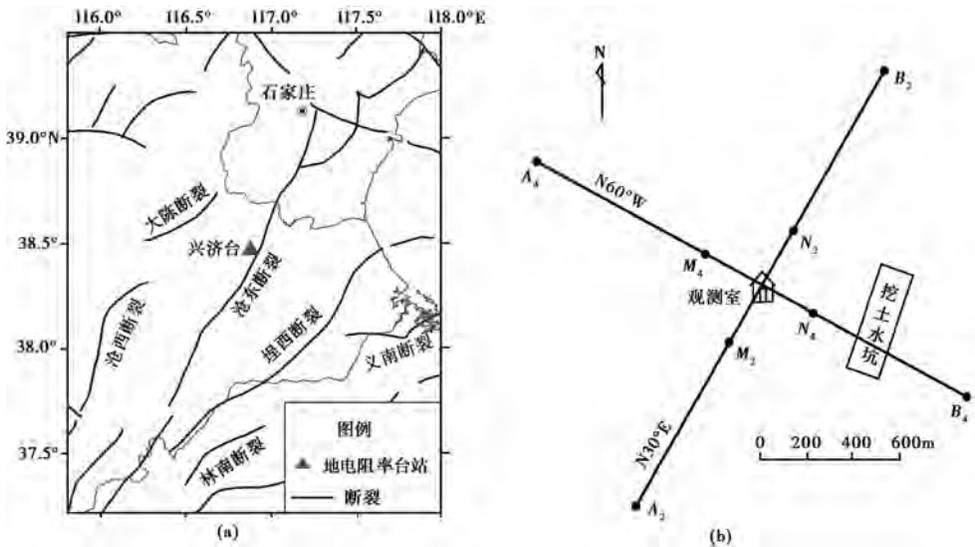


图1 兴济台构造地质(a)和测区布极(b)

① 河北省气象局,2015,河北省降雨量汇编

② 河北省水文水资源勘测研究院,2015,河北省地下水位汇编

2 资料分析

从变化趋势看,兴济台地电阻率和降雨量、地下水位变化可以分为3个阶段(图2),图2中水位值为地下水位的埋深,即地表潜水位距地表的距离,埋深增大代表地下水位下降;反之,埋深减小代表地下水位上升。2004~2007年降雨量较少,地表潜水位埋深增大,地下水位下降,N30°E向地电阻率呈趋势性上升变化,N60°W向地电阻率下降;2008~2013年降雨量大,地下水位较浅且变化趋势转平,N30°E向和N60°W向地电阻率变化平稳;2014年降雨量较少,地表潜水位埋深增大,地下水位较2013年大幅下降,2013年9月份以来N30°E向地电阻率呈趋势性上升,N60°W向地电阻率年变幅减小。结果表明,兴济台地电阻率的变化趋势可能与该区域的降雨量和地下水位变化有关。

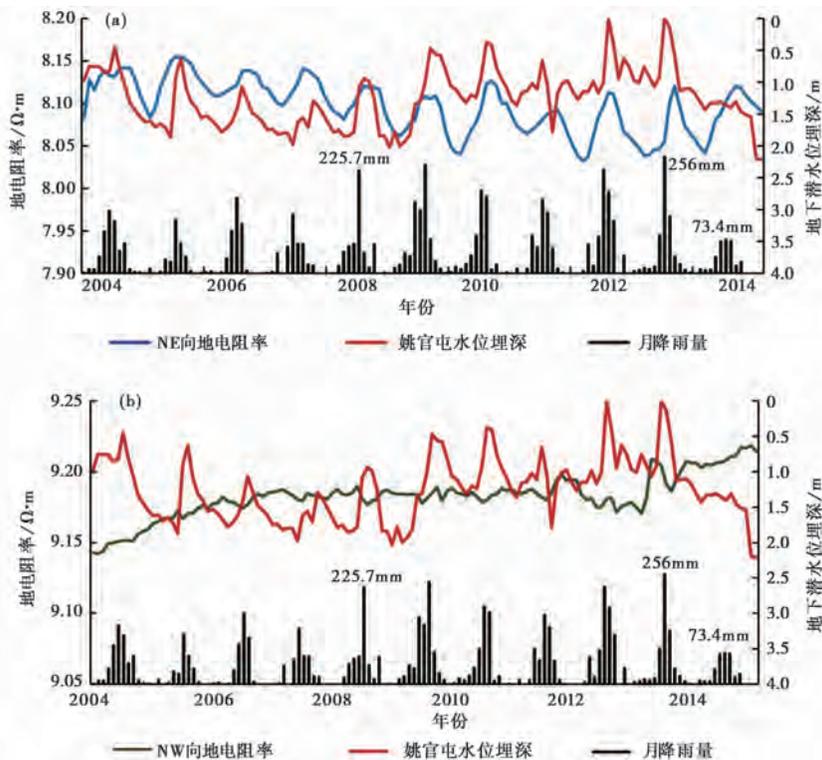


图2 兴济电台N30°E(a)、N60°W(b)向地电阻率月均值、月降雨量、地下水位

从年变周期看,夏季降雨量大,地表潜水位埋深较小,水位高,表层介质地电阻率相对较低;冬季降雨量少,地表潜水位埋深较大,水位低,表层介质地电阻率相对较高。兴济台N30°E向地电阻率年变形态不明显;N60°W向地电阻率的年变化在夏季降雨量较大、地下水位较高、表层介质地电阻率降低时,观测值反而上升,存在“冬低夏高”的“反向年变”,年变化幅度较大。兴济台地下介质电测深结果显示(图3(a)),测区地下介质比较均匀,为4层H型电性结构。表1是依据图2(a)中电测深曲线以水平层状模型计算得到的测区地层电性结构。

如果将视电阻率测区任意划分为 N 块区域, 每一块区域介质电阻率为 $\rho_i, i = 1, 2, \dots, N$, 在测区电性结构确定、观测装置和极距以及布极位置确定时, 视电阻率 ρ_a 是各分区介质电阻率 ρ_i 的函数 (钱家栋等, 1985、1998; Park et al, 1991; Lu et al, 2004)

$$d(\ln\rho_a) = \sum_{i=1}^N \frac{\partial \ln\rho_a}{\partial \ln\rho_i} d(\ln\rho_i) \quad (1)$$

在多数情况下, 各分区介质电阻率在一定时间内的相对变化非常小, $\Delta\rho_i/\rho_i \ll 1$, 因此将式(1)作 Taylor 级数展开, 二阶及高阶项远远小于一阶项, 可忽略不计。视电阻率相对变化可以简单地表示为各分区介质电阻率相对变化的加权和, 即

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a} = \sum_{i=1}^N B_i \frac{\Delta\rho_i}{\rho_i} \quad (2)$$

式中, B_i 被称之为影响系数,

$$B_i = \frac{\partial \ln\rho_a}{\partial \ln\rho_i} = \frac{\rho_i \partial \rho_a}{\rho_a \partial \rho_i} \quad (3)$$

同时 Seigel (1959) 影响系数 B_i 满足如下关系:

$$\sum_{i=1}^N B_i = 1 \quad (4)$$

采用解析表达式和四极装置滤波器算法, 按表 1 的层状电性结构, 在水平层状均匀模型下计算地电断面各层介质地电阻率变化对地电阻率观测的影响系数 (姚文斌, 1989; O'Neill, et al, 1984), 各层介质影响系数随供电极距 AB 的变化如图 3(b) 所示, 供电极距 AB 增大时, 地表地电阻率第一层介质影响系数迅速减小。用 ρ_{as} 表示地表观测的地电阻率, 当 $AB = 2000\text{m}, MN = 750\text{m}$ 时, 兴济台地电阻率 ρ_{as} 相对变化值为

$$\frac{\Delta\rho_{as}}{\rho_{as}} = 0.0058 \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} + 0.093 \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} + 0.2365 \frac{\Delta\rho_3}{\rho_3} + 0.664 \frac{\Delta\rho_4}{\rho_4} \quad (5)$$

兴济台地下表层介质影响系数为 0.0058, 表明地表介质电阻率对地电阻率观测影响不大, 且随着地表介质地电阻率减小, 地电阻率观测值下降, 即夏季降雨量大, 表层地表潜水位

表 1 兴济台水平层状电性结构

层位	N30°E		N60°W	
	厚度 /m	电阻率 / $\Omega \cdot \text{m}$	厚度 /m	电阻率 / $\Omega \cdot \text{m}$
1	10.9	11.64	10.5	11.58
2	28.3	3.11	39.5	3.18
3	113	10.77	117.1	9.46
4	∞	8.39	∞	8.70

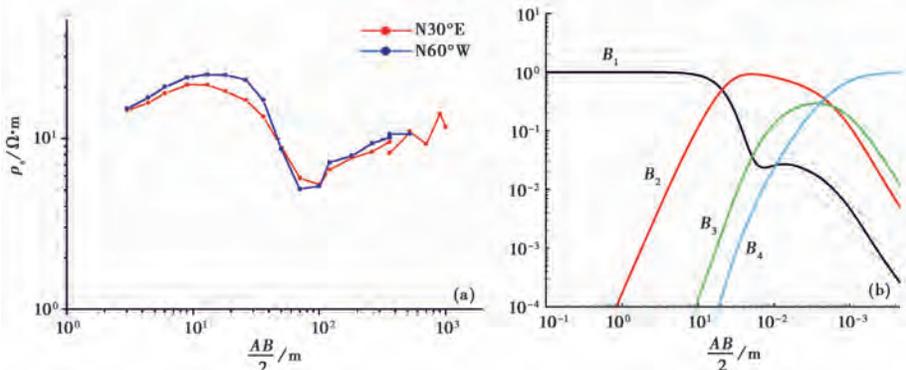


图 3 兴济台电测深曲线(a)和各层介质影响系数 B_i (b)

埋深减小,水位上升时,地电阻率值略微下降,这与 $N30^{\circ}E$ 地电阻率观测结果较为一致,与 $N60^{\circ}W$ 向地电阻率的观测结果恰好相反。

3 地下水位对地电阻率观测的影响

地下水位变化时探测体上部的电性参数必然发生变化,直接影响地电阻率的变化, $N60^{\circ}W$ 向、 $N30^{\circ}E$ 向的地电阻率变化与地下水位有较好的相关性。根据钱复业等(1987)的分析可知:地下潜水位较浅时,可将潜水面认为是地下介质第一层和第二层的分界面,可以观测到地电阻率和地下水位类似的年变化动态。当地下潜水位降低时,介质表层第一层即高阻层厚度 h_1 增大,第二层饱水的低阻层厚度 h_2 减小。结合兴济地电台电测深曲线,利用地电阻率转换函数的递推公式计算水平层状模型和对称四极观测装置的地电阻率值。我们模拟

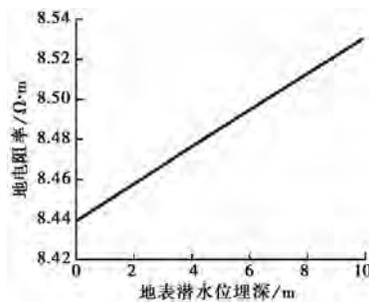


图4 兴济台地电阻率受地表潜水位影响的模拟结果

了地下水位0~10m时地电阻率的理论计算值(图4),地表潜水位埋深增大,水位下降时,理论上地表地电阻率增大。2013年8月~2015年2月水位埋深增大了2.21m(图2),理论上地电阻率增幅为 $0.02 \Omega \cdot m$,而实际观测数据显示, $N30^{\circ}E$ 向地电阻率在此期间由 $9.19 \Omega \cdot m$ 上升至 $9.22 \Omega \cdot m$,增幅为 $0.03 \Omega \cdot m$ 。说明近年来兴济台 $N30^{\circ}E$ 向地电阻率的趋势性上升变化是由于地表潜水位下降引起的。2004年以来地下潜水位年变幅度为1m左右,可引起地电阻率的变化小于 $0.01 \Omega \cdot m$,为地电阻率观测值的1‰,所以 $N30^{\circ}E$ 向地电阻率的年变化不明显。

4 水坑对地电阻率观测的影响

兴济台地电阻率 $N60^{\circ}W$ 向具有“冬低夏高”的“反向年变”,年变幅较大,部分年份年变幅度高达 $0.08 \Omega \cdot m$,为地电阻率观测值的1%,趋势性变化与 $N30^{\circ}E$ 向的刚好相反。根据图3(a),兴济台地下介质比较均匀,认为 $N60^{\circ}W$ 向地电阻率的年变不只是由于电性结构、地表潜水位和降雨量的变化引起的,可能是由于测区中存在长期干扰。经环境调研, $N60^{\circ}W$ 向测量电极 N_4 、供电电极 B_4 之间有个长约300m、宽150m的因取土而形成的水坑,坑的深度在逐年加大,目前已超过10m。夏季时,坑内水位较高,接近地表,冬季由于人工抽水,土坑接近干涸,水面到地面的距离接近10m,使得测区内局部地区水位变化较大。根据Lu等(2004)针对局部电性异常体对观测的干扰形态分布研究,测区不同区域介质对观测的三维影响系数分布显示,在供电电极和测量极之间的一似椭球区域内影响系数为负,其余区域为正,愈靠近电极,影响系数绝对值越大。兴济台测区取土坑位于供电电极和测量极之间,这使

得兴济 N60°W 向地电阻率为负变化。夏季时,水坑中存满水,水的地电阻率小于岩石的地电阻率,N60°W 向地电阻率增大,为年变极大值,冬季时,水坑干涸,空气的地电阻率大于岩石的地电阻率,N60°W 向地电阻率减小,为年变极小值,与观测结果相符。因此,兴济台 N60°W 向地电阻率年变动态主要受取土水坑蓄水量的影响。

5 讨论与结论

在兴济台地电阻率环境调研的基础上,分析地表潜水位、测区水坑对兴济台不同测道地电阻率年变的影响,得到如下认识:

兴济台地电阻率 N30°E 向变化与地表潜水位变化趋势一致,潜水位埋深增大,水位下降造成地表介质地电阻率增大和厚度的增加,地电阻率上升,这与兴济台地下介质表层影响系数为正有关。当地地下水位年变幅度不大,N30°E 向地电阻率年变动态不明显,与兴济台地下介质表层影响系数较小有关。对于地下介质比较均匀、各测道装置极距基本相同的情况,同一台站不同测道年变形态和年变幅度差别很大,是由于地电阻率测区内存在局部异常体引起的(解滔等,2014)。兴济台地电阻率 N60°W 向变化趋势与 N30°E 向相反,且年变幅较大,与 N60°W 向测区内供电极和测量极之间存在水坑有关,水坑所处位置对地电阻率影响系数为负,使得 N60°W 向地电阻率出现反向年变化。中国其他的地电台站也出现过类似的情况,如临夏台 EW 测道供电极和测量极之间开挖土层,其位于测道影响系数为负的区域,将引起地电阻率下降变化;腾冲台在 NS 测道 N 供电极附近开挖了一规模较大的观景湖,该观景湖位于 NS 测道影响系数为负的区域,位于 EW 测道为正的区,且距离 NS 测道更近,引起 NS 测道的上升变化和 EW 测道的下降变化,且 NS 测道上升幅度应大于 EW 测道的下降幅度。本文对取土积水坑这个局部异常体对地电阻率的影响研究还处在定性分析阶段,若结合电测深和地质剖面资料建立三维空间非均匀介质有限元模型,对干扰源进行定量的分析对异常的提取和地震预测是有意义的。

致谢: 中国地震台网中心卢军、解滔给予了重要指导,河北省水文水资源勘测研究院提供沧州地区地下潜水位资料,评审专家提出了中肯有价值的修改意见。在此一并致谢。

参考文献

- 杜学彬,2010,在地震预报中的两类视电阻率变化,中国科学:地球科学,40(10),1321~1330。
- 桂燮泰、关华平、戴经安,1989,唐山、松潘地震前视电阻率短临异常图像重现性,西北地震学报,11(4),71~75。
- 金安忠,1981,地电阻率正常变化和台站电性剖面关系初步研究,地震学报,3(4),389~396。
- 刘允秀、陈华静、程瑞年等,1999,地电阻率与地下水位、大气降水关系研究,中国地震,15(2),184~189。
- 钱复业、赵玉林,1980,地震前地电阻率变化十例,地震学报,2(2),186~197。
- 钱复业、赵玉林、于谋明,1982,地震前地电阻率异常变化,中国科学:B辑,(9),831~839。
- 钱复业、赵玉林、许同春,1987,地电阻率季节干扰变化分析,地震学报,9(3),289~302。
- 钱家栋、陈有发、金安忠,1985,地电阻率法在地震预报中的应用,北京:地震出版社。
- 钱家栋、曹爱民,1998,1976年唐山7.8级地震地电阻率和地下水前兆综合物理机制研究,地震,18(增刊),1~9。
- 宋晓磊、黄清华,2006,降水渗透过程分析及其对视电阻率的影响,北京大学学报:自然科学版,42(4),470~477。
- 王志贤,1981,地电阻率年变化的一种物理解释:大柏舍台不同极距地电阻率观测结果,西北地震学报,3(3),43~47。
- 解滔、卢军、任越霞等,2013a,2013庐山 M_s 7.0 地震前甘孜台地电阻率变化分析,震灾防御技术,8(4),377~388。

- 解滔、李飞、沈红会等,2013b,新沂地震台地电阻率反向年变分析,地震学报,35(6),856~864。
- 解滔、王洪岐、刘立波等,2014,四平台地电阻率相反年变有限元数值分析,地球物理学进展,29(2),588~591。
- 解用明、乔子云、张跃刚等,2005,降雨与电阻率的变化,山西地震,(3),17~19。
- 严玲琴、郑卫平、张辉等,2013,临夏台地电阻率变化与震兆现象分析,中国地震,29(1),168~176。
- 姚文斌,1989,电测深数值计算和解释入门,北京:地震出版社。
- 张国苓、乔子云、贾立峰等,2013,隆尧地电阻率与地下水位关系分析,地震地磁观测与研究,34(5/6),141~143。
- 赵和云、张文孝、杨明芝,1985,地电阻率观测中一类反常年变化的分析讨论,西北地震学报,7(1),4~11。
- 赵和云、钱家栋,1987,郟县台多极距观测资料的反演和分析,中国地震,3(增刊 I),73~78。
- 张学民、王志贤、臧明珍等,1996,降雨对地电阻率干扰的分析,华北地震科学,14(4),71~75。
- 张学民,2004,地电阻率的年变畸变异常分析,地震地磁观测与研究,25(2),68~74。
- 张学民、李美、关华平,2009,汶川 8.0 级地震前的地电阻率异常分析,地震,29(1),108~115。
- 赵玉林、卢军、张洪魁等,2001,电测量在中国地震预报中的应用,地震地质,23(2),277~285。
- Park S K, Van G P, 1991, Inversion of pole-pole data for 3-D resistivity structure beneath array of electrodes, Geophysics, 56, 951~960.
- Lu J, Qian F Y, Zhao Y L, 1999, Sensitivity analysis of the Schlumberger monitoring array: Application to changes of resistivity prior to the 1976 earthquake in Tangshan, China, Tectonophysics, 307(3), 397~405.
- Lu J, Xue S Z, Qian F Y, et al, 2004, Unexpected changes in resistivity monitoring for earthquakes of the Longmen Shan in Sichuan, China, with a fixed Schlumberger sounding array, Physics Earth Planet Inter, 145(1/2/3/4), 87~97.
- O'Neill D J, Memck N P, 1984, A digital linear filter for resistivity sounding with a generalized electrode array, Geophys Prospect, 32(1), 105~123.
- Seigel H O, 1959, Mathematical formulation and type curves for induced polarization, Geophysics, 24(3), 547~565.

Annual variation characteristics of georesistivity at Xingji Seismic Station, Hebei Province

Jia Lifeng¹⁾ Zhang Guoling¹⁾ Qiao Ziyun¹⁾ Shi Fuqiang²⁾ Guo Xuezheng¹⁾

1) Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China

2) Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China

Abstract Based on the electrical sounding of Xingji Seismic Station, we used the transform function recursive formula to analyze the resistivity variation caused by the ground water level. The result of the model suggests that the ascent of the ground water level can cause georesistivity to rise, which is consistent with the georesistivity observation in N30°E direction at Xingji Seismic Station, but the geosistivity change in N60°W is opposite to that of N30°E and the amplitude of the annual variation of N60°W is bigger than that of N30°E. That was caused by an excavation pit between the electrode *N* and the power supply electrode *B*.

Key words: Georesistivity Xingji Seismic Station Annual variation Ground water level Conversion function Numerical simulation