

宁亚灵,王利花,程紫燕,等.临汾台地电阻率趋势下降有限元数值分析[J].地震工程学报,2017,39(增刊):121-126.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.增刊.121

NING Yaling, WANG Lihua, CHENG Ziyan, et al. Descending Trend Analysis of Geo-resistivity at Linfen Seismic Station Using Finite Element Method[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(Supp.): 121-126. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.121

临汾台地电阻率趋势下降有限元数值分析^①

宁亚灵^{1,2}, 王利花³, 程紫燕^{1,2}, 吕海杰⁴

(1. 山西省地震局, 山西 太原 030021; 2. 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站, 山西 太原 030021;
3. 成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都 610225; 4. 郑州工业贸易学校, 河南 郑州 450007)

摘要: 依据山西省临汾地震台地质资料、岩层电性资料和台站电测深曲线, 将该台地下介质电性分布简化为二维电性结构, 在此基础上, 构建了三维非均匀层状介质有限元模型。三维有限元模型采用水平层状结构, 假定浅层三层介质电阻率均匀。依据电测深曲线及水平层状模型, 借助地电阻率观测资料获取测区地层电性结构。通过第一层介质电阻率变化模拟了 2 个测道的浅层介质电阻率变化, 分别是测区 NS 向表层介质电阻率随季节性降雨的变化和 EW 向浅层介质电阻率随水渠水深的变化。计算结果表明, 降雨对地电阻率会造成升高影响, 解释了临汾地电年变形态“夏高冬低”的原因; 此外, 降雨对地电阻率的影响还随深度的增加而增大, 同时还与介质均匀性、地质因素等有关。测区附近水渠内水位的加深对电阻率造成的变化很小, 认为 2010 年以来的趋势下降异常跟水渠干扰关系很小。研究结果将会对地电阻率的干扰因素以及可能出现的前兆指示具有重要的意义。

关键词: 临汾地震台; 地电阻率; 有限元; 干扰

中图分类号: P315.72

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)增刊-0121-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.0121

Descending Trend Analysis of Geo-resistivity at Linfen Seismic Station Using Finite Element Method

NING Yaling^{1,2}, WANG Lihua³, CHENG Ziyan^{1,2}, Lv Haijie⁴

(1. Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan 030021, Shanxi, China;

2. Continental Rift Valley Dynamics State Observatory of Taiyuan 030021, Shanxi, China;

3. College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610025, Sichuan, China;

4. Zhengzhou Industry & Trade School, Zhengzhou 450007, Henan, China)

Abstract: In this study, we collected the geological, electrical strata, and electrical sounding data from the Linfen seismic station in the Shanxi Province, China. According to this information, the electrical structure of the medium beneath the Linfen station was simplified as a two dimensional

① 收稿日期: 2017-05-26

基金项目: 中国地震局震情跟踪青年课题(2015010408); 山西省地震局科研项目(SBK-1626); 成都信息工程大学科研基金(KYTZ201513); 山西省地震局科研项目(SBK-1735)

作者简介: 宁亚灵(1982-), 女, 山西太原人, 硕士, 工程师, 现主要从事电磁地震预报和热红外遥感方面的研究。

E-mail: ny1000@qq.com.

通信作者: 王利花(1983-), 女, 河南洛阳人, 博士, 讲师, 现主要从事微波遥感方面的研究。E-mail: wanglh@cuit.edu.cn.

electric section. On this basis, a three-dimensional inhomogeneous finite element model was constructed, and the electrical structure of the strata in the study area was analyzed. The results show that the earth resistivity will increase with rainfall, which explains why the georesistivity in the Linfen station shows a high feature in the summer and a low one in the winter. In addition, the impact of rainfall on earth resistivity increases with depth, which is also concerned with media uniformity and geological factors. The rise of the water level in surrounding canals has little effect on the earth resistivity; therefore, it is believed that the gradual decrease of georesistivity since 2010 is not related to canals. The study has great significance to the interference factors of earth resistivity and possible earthquake precursors.

Key words: Linfen seismic station; earth resistivity; finite element; interference

0 引言

地电阻率作为一项重要的地震前兆观测手段,受到国内外很多科学家的关注^[1-7]。定点地电阻率观测是观测系统一定的情况下获得数据随时间的变化,是观测范围内不同深度处地电阻率变化的综合反映^[8]。我国自1966年开展地电阻率的地震现场试验观测以来,在长期的监测预报工作中积累了大量的研究资料和震例总结。预测实践与经验表明:震前地电阻率异常是客观存在的^[9-12]。大震前,震中区及其附近的地电阻率一般显示2~3年、幅度为百分之几到百分之十几的趋势变化,大震前的趋势异常在台站的不同方位测线上幅度不尽相同,显示各向异性特征^[13]。在目前的单极距观测方式下,往往将表层地电阻率变化和包含孕震信息的深部地电阻率变化叠加在一起,两种变化在幅度上相当,导致预报人员难以清楚地判断地电阻率观测数据发生变化的真正原因。

本文结合临汾台地质资料、岩层电性资料和电测深资料,建立三维有限元模型,将降雨、附近水渠对地电阻率的影响进行了深入分析,其研究结果将会对地电阻率的干扰因素排除以及可能出现的前兆指示具有重要的意义。

1 临汾地电阻率台站简介

临汾台站地处临汾盆地西缘,位于临汾市尧都区金殿镇龙祠村西北约1 km的姑射山脚下,构造上处于临汾凹陷内的龙祠沉降中心,其中心紧靠控制盆地西缘的罗云山。此山山前断裂发育,新生代沉降幅度1 800 m,其中上新世1 100 m,第四纪700 m,断裂从台站附近通过。台站的西面为断层下盘,岩性以奥陶系中统灰岩为主,东面是断层的上

盘,上覆盖第四系上更新黄土 Q_3 。台站的地势表现为自西向东倾斜,东部地面晚更新世和全新世河流相堆积广泛分布,沟谷切割轻微。自有记载以来,台站周围发生过多中强地震,近代小震活动频次较高(图1)。

临汾台站1997年12月前地电阻率观测为人工观测记录,采用DDC-2A和DDC-2B型电子自动补偿仪。1997年10月,在保持原有地电阻率观测传输线路不变的前提下,对各极点进行移点埋设,相对于原测线,北南测线向东平移30 m,东西测线向北平移50 m,地电观测控制区域基本未发生变化。1998年1月以后使用ZD8A数字地电仪,2000年1月1日开始使用ZD8B数字地电仪,2006年5月3日11时启用改造后新线路,更换了除电极引线外的全部外线路。2007年1月1日开始使用“十五”新仪器ZD8BI数字地电仪。2010年9月5—17日对NS、EW向所有外线路进行了改造更换;2014年9、10月更换所有电极以及有问题的电杆,大大缓解了外线路接触树叶、测量极电杆年久失修破损严重等环境干扰问题,给异常识别提供了更好的环境条件。目前临汾地电阻率设有NS、EW两个测道,布极方式和测量极距如表1。

2 有限元数值分析

地层是非均匀的,(视)地电阻率测量不是各地层真实的电阻率,而是地层各区域介质电阻率的综合反映。地电阻率干扰变化形态和幅度往往和前兆异常变化相似,或者叠加在前兆异常中,因此发现异常后,首要工作是进行干扰的排除,从而更靠近与孕震有关的信息。三维有限元模型方法能够定量确定干扰源与观测系统的相对空间位置,进行干扰幅度和形态的定量分析。详细方法介绍可参考文献[14-15]。

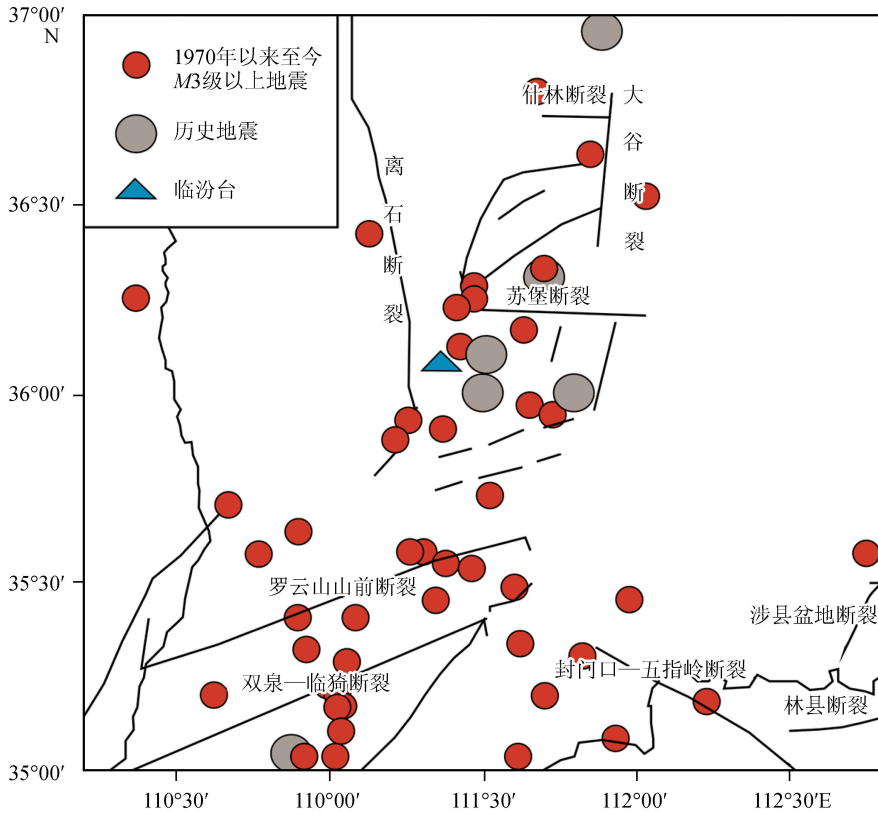


图 1 临汾地震台构造

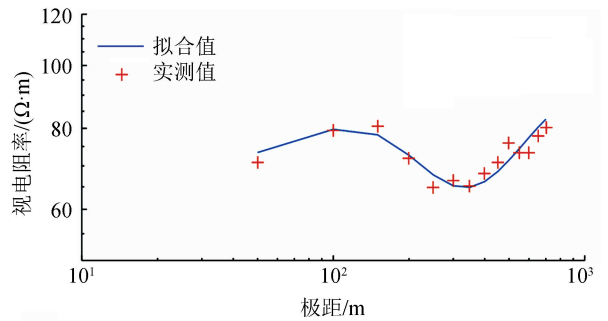
表 1 临汾台地电阻率布极方式

台站名称	布极方位	供电极距 /km	测量极距 /km	装置系数
临汾	NS	1.0	0.3	
	EW	1.0	0.3	2.382

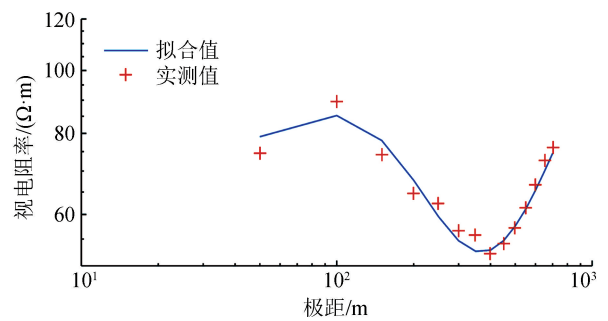
本文根据龙祠台站 2003 年 2 月 10 日地电阻率外场的十字电测深反演得到两测道的电测深曲线(图 2)作为三维有限元模型构建的基础数据。三维有限元模型采用水平层状结构,假定浅层三层介质电阻率均匀,依据电测深曲线及水平层状模型,借助地电阻率观测资料获取测区地层电性结构(表 2),模型示意图见图 3。

临汾台两个测道的供电极距相同,且都沿布极中心对称分布。考虑到地下介质的不均匀性,三维有限元模型在 NS 和 EW 方向采用不同的尺寸。经试验,设置模型水平尺寸 $D > 5\,000\text{ m}$,两方向地电阻率计算值基本上不随模型水平尺寸的增加而变化,为此该模型水平尺寸设置为 $D = 6\,000\text{ m}$,此时两方向测道地电阻率计算值随模型最底层厚度 H 的变化而变化;当 $H > 1\,500\text{ m}$ 后两测道地电阻率计算值基本上保持稳定状态,其不随 H 的增加而变化,因此模型设置 $H = 2\,000\text{ m}$ 。最终确定临汾台 NS 向受降雨影响的模型大小为 $6\,000\text{ m} \times 6\,000\text{ m}$

$\times 2\,240\text{ m}$,EW 向受水渠影响的模型大小为 $6\,000\text{ m} \times 6\,000\text{ m} \times 2\,330\text{ m}$ 。另外模型计算时台站观测装置布极中心始终位于模型水平面中心。



(a) NS向



(b) EW向

图 2 临汾 NS 向和 EW 向电测深曲线

表2 临汾台水平层状电性结构

层位	NS		EW	
	厚度/m	电阻率/($\Omega \cdot m$)	厚度/m	电阻率/($\Omega \cdot m$)
1	50	70	30	70
2	30	200	50	130
3	110	23	250	30
4	50	2 000	2 000	2 000
5	2 000	15	-	-

在研究降雨对地电阻率影响时,将降雨部分简化为一厚度为 2 m 的低阻体,电阻率值设定为 $40 \Omega \cdot m$ 。具体计算时先将低阻体部分设定为表层介质电阻率值,计算未受降雨干扰时的地电阻率,而后将低电阻率值赋予之,分别计算降雨为 0.5 m、1 m、1.5 m 和 2 m 时受到降雨干扰时的地电阻率值,进而揭示降雨对 NS 向地电阻率的影响。模型示意图见图 3(a)。

鉴于 EW 向布极区附近存在一尺寸为 $80 m \times 6 m \times 2 m$ 的水渠,可能对地电阻率观测造成影响。在模型计算时将无水水渠部分简化为一空气高阻体,电阻率值设定为 $10\ 000 \Omega \cdot m$ 。模拟水渠对地电阻率的影响时,分别设置水深为 0.5 m、1 m、1.5 m 和 2 m,并简化水渠为低阻体,电阻率值设定为 $20 \Omega \cdot m$,从而获取水渠对地电阻率的影响,水渠干扰模型见图 3(b)。

3 临汾地电阻率变化特征

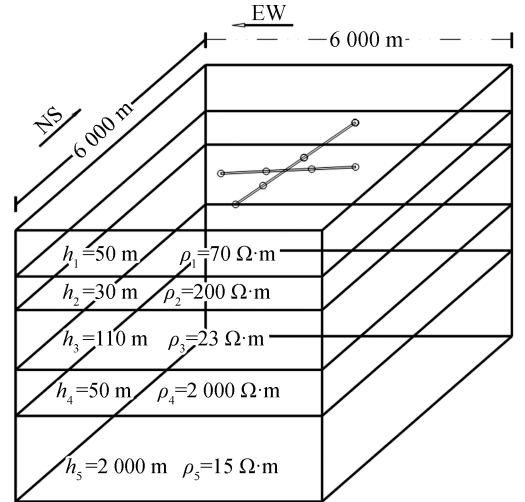
由临汾地电阻率日均值曲线图(图 4)可知,临汾台站地电阻率 EW 向从 2010 年 9 月 17 日开始快速下降,速率明显大于往年,下降幅度为 4.5%;2011—2013 年地电阻率日均值曲线形态变化基本符合正常年变,但整体幅度明显偏低;2014 年末出现加速下降趋势,2014 年初至今年变畸变,同时 2015 年 6 月后两方向数据各向异性明显。NS 向数据年变基本正常,但是每年夏天降雨导致漏电现象严重(图 4)。

4 临汾地电干扰定量数值分析

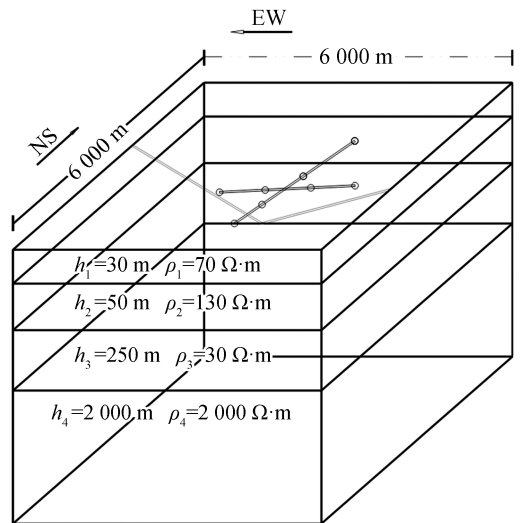
4.1 降雨对 NS 向地电阻率的影响

临汾台 2010—2015 年 12 月的地电阻率和降雨量观测资料如图 5 所示。表层介质电阻率随季节变化显著,夏季降水量较多且表层水为液态,介质电阻率相对较低,冬季降水较少且临汾台表层土壤处于冻结状态,介质电阻率较高。

夏季临汾地区降水量增加,临汾台 NS 和 EW 两测道地电阻率随浅层介质电阻率值降低时升高;



(a) NS向降雨模型



(b) EW向水渠干扰模型

图3 临汾地电阻率模型示意图

冬季,该地区降水量减少,地表土层处于封冻状态,两测道地电阻率随浅层介质电阻率值升高时降低。

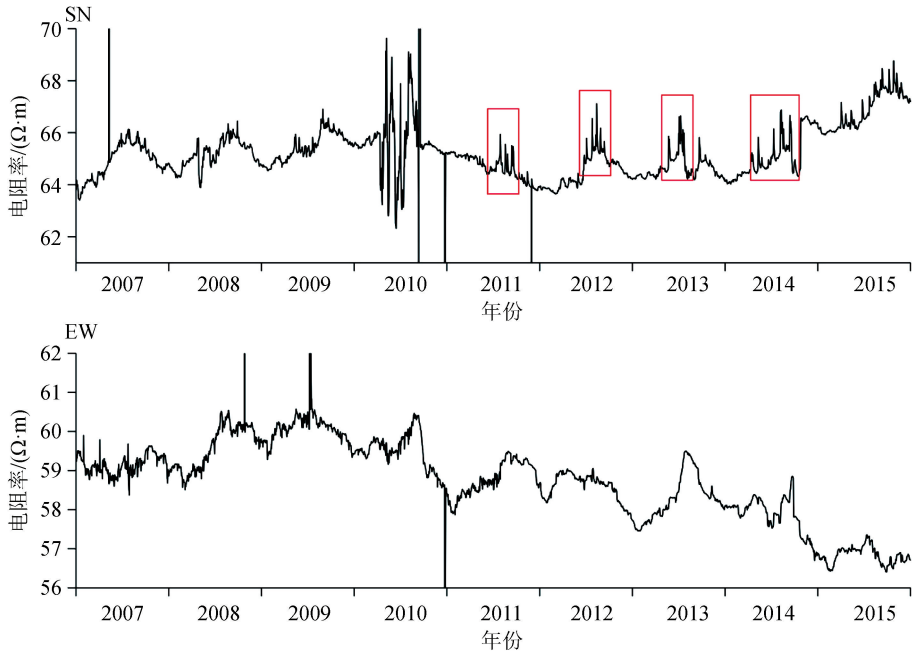


图 4 临汾地电阻率日均值

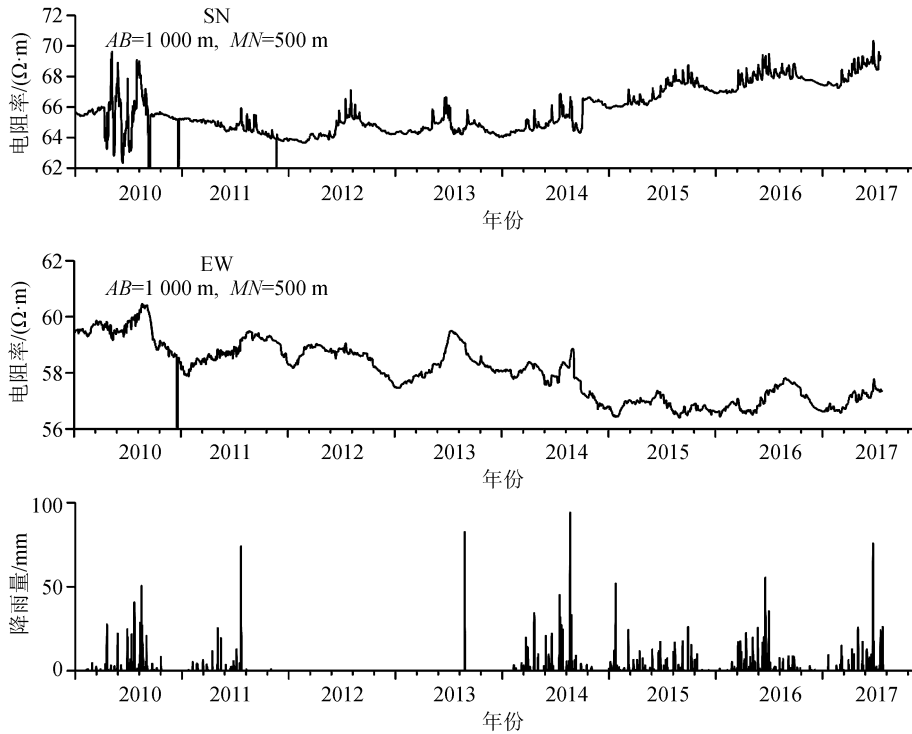


图 5 临汾台地电阻率观测资料和降雨量

整体上该台年变形态表现为“夏高冬低”,与我国大多数台站地电阻率“夏低冬高”的年变形态相反。此外,该台两测道年变幅度较大,约为观测值的 6%,受降雨影响 NS 向明显大于 EW 向,其年变形态更清晰、突跳情况与降雨量更呼应。

从表 3 可以看出,降雨对地电阻率的影响随深度的增加而增大,这里所说的深度不仅与降雨量的

表 3 降雨对 NS 向电阻率产生的影响

降雨模拟深度/m	降雨地电阻率计算值/($\Omega \cdot m$)	变化量
0	57.96	-
0.5	58.01	0.04
1	58.05	0.09
1.5	58.09	0.13
2	58.13	0.17

大小有关,还跟介质均匀性、地质因素等有关,情况

较为复杂。以后可以尝试用其他的数值模拟方法进一步定量研究降雨深度对地电阻率的影响。此次模拟结果可以看出,降雨对地电阻率会造成升高影响,解释了临汾地电年变形态为“夏高冬低”的原因。

4.2 水渠对临汾台站 EW 向地电阻率的影响

取 2010 年 1 月 1 日至今的 EW 向地电阻率观测值的均值 $58.33 \Omega \cdot \text{m}$ 作为观测值计算水渠干扰对地电阻率的影响,可以看出:(1)随着水渠内水位深度的增加,变化量基本保持不变;(2)水渠干扰对地电阻率的影响很小。遗憾的是没有该台水渠存在前的观测值用于对比研究。但此次模拟结果至少说明 2010 年以来 EW 向地电阻率的趋势下降异常受水渠干扰很小。

表 4 水渠干扰对 EW 向电阻率产生的影响

水渠中水位深度/m	水渠干扰地电阻率计算值($\Omega \cdot \text{m}$)	变化量
0	57.85	-0.48
0.5	57.85	-0.48
1	57.85	-0.48
1.5	57.85	-0.48
2	58.07	-0.26

5 结论

本文搜集了山西省临汾地震台历史地质资料和电测深曲线,将该台地下介质电性分布简化为二维电性结构,采用有限元数值模拟方法,研究降雨和水渠对地电阻率观测的影响。主要结论如下:

(1) 降雨对地电阻率会造成升高影响,解释了临汾地电年变形态为“夏高冬低”的原因。此外,降雨对地电阻率的影响还随深度的增加而增大,同时还与介质均匀性、地质因素等^[16]有关,其情况较为复杂。

(2) 临汾台地电随着水渠内水位深度的增加,电阻率基本保持不变;2010 年以来该台 EW 向地电阻率的趋势下降异常受水渠干扰小。

参考文献

[1] MAZZELLA A, MORRISON H F. Electrical Resistivity Varia-

tions Associated with Earthquakes on the San Andreas Fault [J]. Science, 1974, 185(4154): 855-857.

- [2] YANG Chieh-hou, CHENG Ping-hu, YOU Jiunn-I, et al. Significant Resistivity Changes in the Fault Zone Associated with the 1999 Chi-Chi Earthquake, West-central Taiwan [J]. Tectonophysics, 2002, 350: 299-313.
- [3] FRIEDEMANN Freund. Pre-earthquake Signals: Underlying Physical Processes [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, (41): 383-400.
- [4] LU Jun, QIAN Fuye, ZHAO Yulin. Sensitivity Analysis of the Schlumberger Monitoring Array: Application to Changes of Resistivity Prior to the 1976 Earthquake in Tangshan, China [J]. Tectonophysics, 1999, 307: 397-405.
- [5] DU Xue-bin, XUE Shun-zhang, HAO Zhen, et al. On the Relation of Moderate-short Term Anomaly of Earth Resistivity to Earthquake [J]. Acta Seismologica Sinica, 2000, 13(4): 393-403.
- [6] 赵玉林, 卢军, 张洪魁, 等. 电测量在中国地震预报中的应用 [J]. 地震地质, 2001, 23(2): 277-285.
- [7] 卫定军, 李春贵. 搭建蔬菜大棚对固原地电台视电阻率观测影响的分析 [J]. 地震地磁观测与研究, 2009, 30(2): 77-82.
- [8] 毛先进, 李志祥, 杨玲英. 台址下表层介质电阻率变化对视电阻率观测值影响特征的初步研究 [J]. 地震研究, 2003, 26(3): 338-342.
- [9] 钱复业, 赵玉林. 地震前地电阻率变化十例 [J]. 地震学报, 1980, 2(2): 186-197.
- [10] 张学民, 李美, 关华平. 汶川 8.0 级地震前的地电阻率异常分析 [J]. 地震, 2009, 29(1): 108-115.
- [11] 肖武军, 关华平. 汶川 8.0 级地震以及其它大震前的地电阻率异常特征 [J]. 西北地震学报, 2009, 31(4): 349-354.
- [12] ZHANG Xue-min, SHEN Xu-hui. Electromagnetic Anomalies Around the Wenchuan Earthquake and Their Relationship with Earthquake Preparation [J]. International Journal of Geophysics, 2011, doi:10.1155/2011/904132: 1-8.
- [13] 钱家栋. 与大震孕育过程有关的地电阻率变化研究 [J]. 中国地震, 1993, 9(4): 341-350.
- [14] 解滔, 李飞, 沈红会, 等. 新沂地震台地电阻率反向年变 [J]. 地震学报, 2013, 35(6): 856-864.
- [15] 阎照文. ANSYS10.0 工程电磁分析技术与实例详解 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 339-344.
- [16] 史双双, 赵强, 赵晋泉, 等. 临汾盆地晚第四纪地层划分与新构造运动分析 [J]. 地震工程学报, 2016, 38(4): 629-630.