

杨龙翔,刘学谦,孙召华.金属大棚对周口台地电阻率干扰定量分析[J].地震工程学报,2020,42(2):447-452.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.02.447

YANG Longxiang, LIU Xueqian, SUN Zhaohua. Quantitative Analysis of the Disturbance to Earth Resistivity Caused by a Metal Greenhouse at Zhoukou Station[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2020, 42(2): 447-452. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.02.447

## 金属大棚对周口台地电阻率干扰定量分析

杨龙翔,刘学谦,孙召华

(河南省地震局,河南 郑州 450000)

**摘要:** 周口地电阻率观测 2015 年出现异常变化,因异常期间该台场地存在较多干扰源。为正确评价该次异常,在电测深结果的基础上建立三维数值模型,采用有限元数值计算,定量评估该台测区周围金属蔬菜大棚等干扰源对地电阻率观测的影响量。结果表明:金属大棚可能是周口台本次地电阻率异常的主要影响因素。

**关键词:** 地电阻率;有限元分析;干扰

**中图分类号:** P319.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-0844(2020)02-0447-06

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.02.447

## Quantitative Analysis of the Disturbance to Earth Resistivity Caused by a Metal Greenhouse at Zhoukou Station

YANG Longxiang, LIU Xueqian, SUN Zhaohua

(Henan Earthquake Agency, Zhengzhou 450000, Henan, China)

**Abstract:** The earth resistivity observations in Zhoukou station showed an anomaly in 2015 due to disturbance sources near the station. To correctly evaluate this anomaly, this study established a 3D numerical model on the basis of electrical sounding results. The influences of disturbance sources near the station on earth resistivity observations were quantitatively assessed by using the finite element method. Calculation results suggested that the disturbance from a metal greenhouse was the main influencing factor of the anomaly.

**Keywords:** earth resistivity; finite element analysis; disturbance

### 0 引言

中国的地电阻率观测自 1966 年邢台  $M_S 7.2$  地震后开始开展,经过多年的研究和发展,地电阻率观测已经成为目前地球物理观测一项重要手段。在中强地震前,如 1976 年唐山  $M_S 7.8$ 、1998 年张北  $M_S 6.2$ 、2008 年汶川  $M_S 8.0$  等,不少学者<sup>[1-4]</sup>研究表明地电阻率有着异常变化现象。但随着城镇发展,地电阻率台

站受到的干扰愈来愈多,观测数据质量逐年下降。

周口台地电阻率数字化观测始于 2012 年,观测数据质量符合规范要求,年变化清晰。在日常数据跟踪中,发现自 2014 年 11 月出现了破年变和趋势下降的异常变化。同时期台站环境调查发现,测区内陆续建设了大量金属蔬菜大棚。为了对该台数据异常进行较准确评定,需要从定量化分析的角度去进一步认识。

针对影响地电阻率数值变化的各类干扰的定量

收稿日期:2019-06-08

基金项目:中国地震局专项:全国地球物理台网数据跟踪分析与产出

第一作者简介:杨龙翔,工程师,主要从事地震预报研究。E-mail:13523407902@163.com。

通信作者:刘学谦,高级工程师,主要从事地震预报研究。E-mail:xueqian-liu@163.com。

分析,我国不少学者开展了许多研究工作。例如利用电测深资料结合有限元方法,建立三维有限元模型分析金属导线对观测资料的影响<sup>[5]</sup>,降雨不同深度对地电阻率观测值的影响<sup>[6]</sup>,以及铁脚架、地基等测区内铁质干扰情况<sup>[7]</sup>。本文利用周口台最新的电测深结果采用三维有限元数值分析方法,分析了在2014年异常出现以来,测区内金属蔬菜大棚对观测值的影响量级,为观测数据跟踪分析工作和地震前兆异常研判提供了量化依据。

## 1 周口地电阻率台站简介

周口地电测区位于周口市(河南)北郊后石店村,南距城区3 km,海拔高度为48 m。台站地处黄淮平原上,测区地貌平坦,落差小于1 m;地势西北高、东南低,表层为粉土,无卵石层和砾石层,第四系覆盖层在200 m以上。测区位于东西向的周口—鹿邑断裂带附近(图1,图中地震为1970年以来 $M_s \geq 3.0$ 地震)。

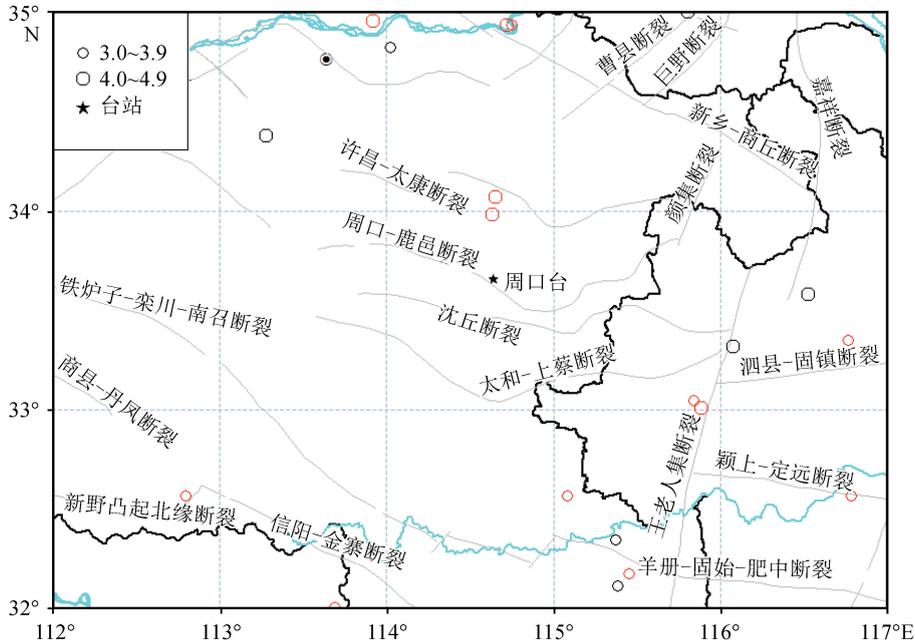


图1 周口台及周边断层分布示意图

Fig.1 Location of Zhoukou station and nearby faults distribution

周口地电阻率观测仪为ZD8M地电阻率仪。2012年起开始数字化观测,采用对称四极布设,外线架空,设NS、EW、NW向三测道(图2)。供电电极距900 m,测量极距250 m。电极埋深2 m(水平放置),单极接地电阻供电电极(铅板800 mm×800 mm,厚度>3 mm)小于30 Ω,测量极(铅板500 mm×500 mm,厚度>3 mm)小于100 Ω。

将周口台2013至2014年地震平静期间的数据进行时序叠加后得到的数值作为正常预测值(图3红色曲线),与后期的观测值比较后发现,周口台观测曲线在2014年年底开始,EW测道出现破年变,NW测道出现明显下降的异常变化(图3黑色曲线)。由于异常出现时正值该台EW和NW测道附近陆续增建大量金属大棚,主要集中在E测量、E供电电极附近(图2),时间和空间上均较为接近。因此EW测道和NW测道的异常变化是否与金属大棚有关,金属大棚修建的影响量级是多少,是否是引

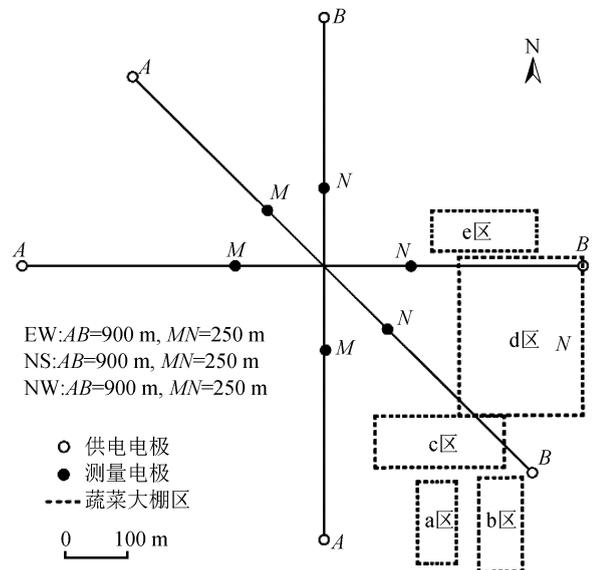


图2 周口台地电阻率观测布极图

Fig.2 Electrodes arrangement for resistivity observation of Zhoukou station

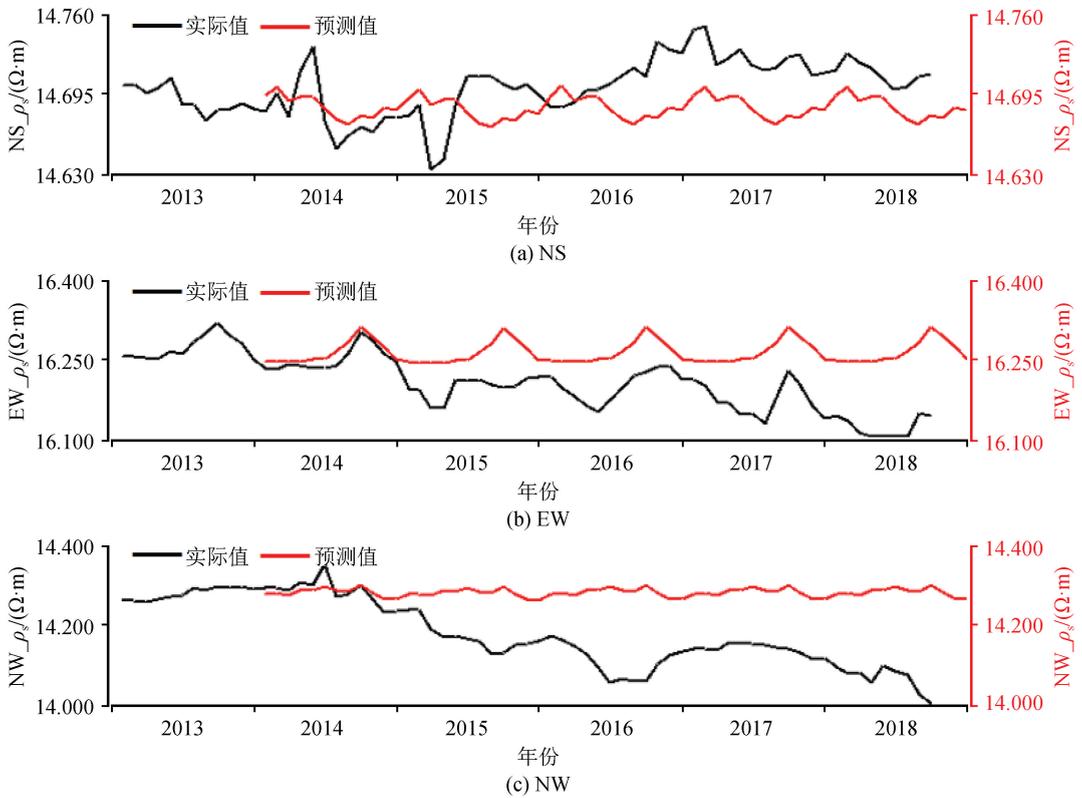


图 3 周口地电阻率观测曲线

Fig.3 Observation curves of geoelectric resistivity in Zhoukou station

起了该台数值变化的主要原因需要进一步验证。

## 2 有限元数值分析

### 2.1 分层模型建立与检验

根据周口台电测深资料(图 4)和同场地高密度电法测线资料(图 5),该台场地横向电性比较均匀,存在较好的水平层状结构的特点。高密度电法结果显示,0~10 m 为根植层,以粉土、粉质黏土为主,10~55 m 为粉砂层,以粉砂、细沙为主。总体电阻率浅层较高为 40~50 Ω·m;约在 10~30 m 深度电阻率有一个升高,之后逐渐下降。

将电测深反演结果结合高密度电法结果作为三维有限元模型建立的基础数据,建立水平层状模型并假定浅层三层介质电阻率均匀(表 1)。此前不少学者研究认为,模型整体尺寸和地层厚度越厚计算结果越接近理论值,但同时计算量越大,在厚度超过 1 500 m 后基本趋于稳定<sup>[4]</sup>,因此本次模型最终定为长 6 000 m、宽 6 000 m、厚度 2 000 m。EW、NS 两测道电性结构基本一致,仅在最后两层电阻率值存在差异,因此,EW、NS 方向分别采用实际解释结果进行计算,NW 测道模型使用 NS 测道参数进行计算。

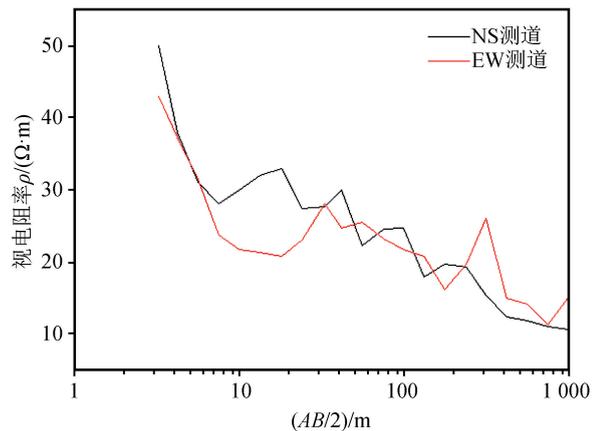


图 4 周口台电测深曲线

Fig.4 Resistivity sounding curve of Zhoukou station

为了验证模型合理性,利用电阻率转换函数递推公式在给定电测深和极距的基础上推算出理论视电阻率值。对比三维有限元模型的计算结果,二者差值仅 0.01 Ω·m(表 2),说明三维有限元模型建立的是合理的。

### 2.2 蔬菜大棚模型建立

测区内金属大棚由宽 8 m 间隔 1 m 的金属管连接而成,其简化模型如图 6。其中模型 A 与实际大棚一致,模型 B、C 为实际大棚的简化模式。为了

验证三种模型影响量的差异,以一个 10 m×8 m 的小尺寸大棚置于距离供电电极外侧(影响系数正值区) 25 m 处,计算三种模型影响量,其计算结果列于表 3。从模型 B 到模型 C,小尺寸模型与实际大棚模型的影响量趋势是一致的,模型尺寸越大影响量

越大。为了进一步确认简化模型的合理性,以一个 100 m×18 m 大棚和两个 100 m×8 m 大棚进一步进行估算,实际结果与小尺寸模型趋势一致,因此在有限元计算中采用了模型 C 对金属大棚进行了简化处理。

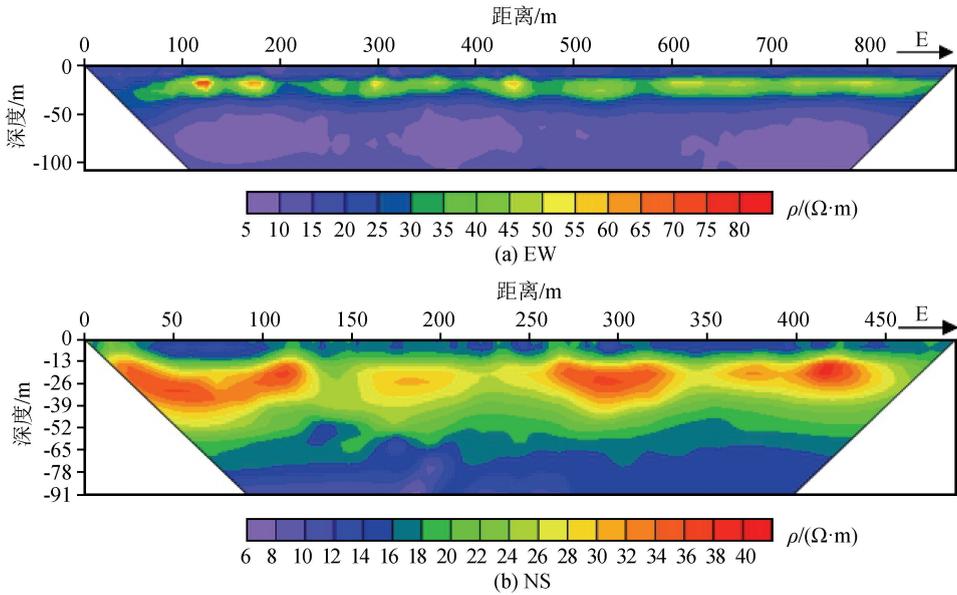


图 5 周口台高密度电法测量图

Fig.5 Measurement with high density resistivity method at Zhoukou station

表 1 周口台水平层状电性结构

Table 1 Horizontal layered electrical structure at Zhoukou station

层位	NS(NW)测道		EW 测道	
	电阻率 /( $\Omega \cdot m$ )	厚度 /m	电阻率 /( $\Omega \cdot m$ )	厚度 /m
1	47.3	3.4	47.3	3.4
2	16.8	9.0	16.8	9.0
3	27.1	62.1	27.1	62.1
4	14.0	382.5	15.2	382.5
5	7.3	1 543.0	8.4	1 543.0

表 2 周口台视电阻率理论值与计算值对比(单位: $\Omega \cdot m$ )

Table 2 Comparison between theoretical and calculated values of apparent resistivity at Zhoukou station (Unit: $\Omega \cdot m$ )

测道	理论 $\rho_s$ 计算值	有限元模型 $\rho_s$ 计算值	理论值与模型值差值
EW 向	15.72	15.714 8	0.01
NW 向	14.55	14.543 2	0.01

以模型 C 作为金属大棚的简化模型,在电测深模型约束下计算了测区外围大棚距供电电极距离逐渐增加时沿测道延长线和垂直方向对观测资料的影响量变化情况(图 7)。结果表明,随着距离的逐渐增加,影响量呈现近似指数型的衰减,在距离供电电极超过 160 m 后,无论垂直测道方向还是延长线方向,金属大棚影响量已经很微弱(小于 0.1%)。因此,在

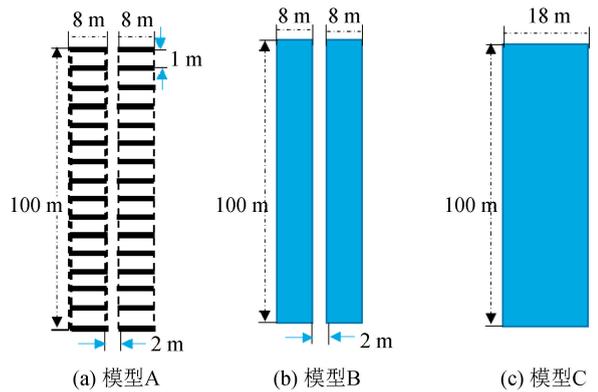


图 6 金属大棚简化模型示意图

Fig.6 Schematic diagram of simplified model for the metal greenhouse

表 3 金属大棚模型计算值比较

Table 3 Comparison between calculated results with different models

模型尺寸	模型	模型影响下 $\rho_s$ 计算值 /( $\Omega \cdot m$ )	影响量相对 17.714 8 $\Omega \cdot m$ 变化量/%
10 m×8 m	模型 A	15.709 9	0.03
	模型 B	15.708 6	0.04
	模型 C	15.705 5	0.06
100 m×18 m	模型 B	15.685	0.18
	模型 C	15.648	0.42

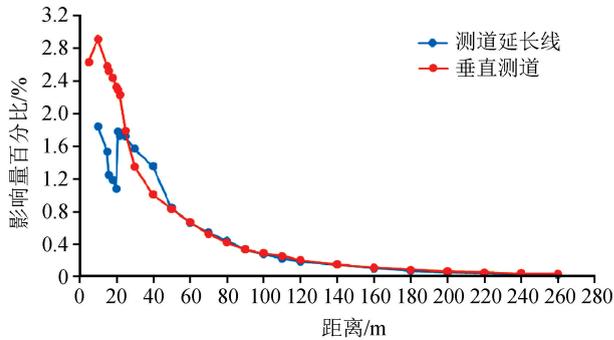


图 7 干扰幅度随金属大棚距离变化

Fig.7 Variation of disturbance amplitude with the distance from metal greenhouse

表 4 周口台不同时期观测值和计算值(单位: $\Omega \cdot m$ )Table 4 Observed and calculated results of resistivity for different periods at Zhoukou station (Unit: $\Omega \cdot m$ )

测道	2014 年 10 月前		2014 年 10 月后		观测值 差值	模型计算值 差值
	电阻率观测值	模型计算值	电阻率观测值	模型计算值		
EW 向	16.33	16.32	16.16	16.09	-0.17	-0.23
NW 向	15.18	15.17	14.64	13.88	-0.46	-1.29

根据模型计算结果可以发现,EW 测道和 NW 测道金属大棚均会导致电阻率观测值的下降,分别下降  $0.23 \Omega \cdot m$  和  $1.29 \Omega \cdot m$ 。此结果与实际观测结果的趋势是一致的,实际观测结果变化较小,EW 测道下降  $0.17 \Omega \cdot m$ ,NW 测道下降  $0.46 \Omega \cdot m$ 。其中 EW 测道观测值与模型计算结果较为接近,NW 测道计算结果相差较大,但从数据来看,NW 测道持续下降时间也较长,最终观测值在  $14.3 \Omega \cdot m$  趋于新的稳定。此外,这种计算结果的差异应该是模型简化程度较高造成的,即将金属大棚区域简化为整体钢板造成的影响量增加。

因此金属大棚对观测值的总体影响趋势与实际观测值的下降异常同步,这正是局部低阻体影响所致。低阻干扰源影响所表现出的电阻率下降现象也与解滔等<sup>[8]</sup>的研究结果相符。所以周口台电阻率观测值的下降,金属大棚的影响是客观的,很可能是主要的影响因素。

### 3 结论

(1) 有限元计算中初始模型的建立非常关键。计算表明在简化的模型下,结果会有明显的偏高现象,但不同模型的计算结果量级和趋势是一致的,与实地资料变化趋势相比也是一致的,量级在不同模型下都较实地资料略高。因此在异常核实和观测数据跟踪分析中,可以利用简化模型快速分析干扰源对观测资料影响的量级和趋势。

进行金属大棚或低阻体影响量计算时,测区 160 m 外的干扰源未参与计算。

### 2.3 计算结果

周口台地电阻率数据在 2014 年 10 月开始出现异常时段。通过现场异常核实,金属大棚主要分布在测区 a~e 区(图 2)。在 2014 年 10 月以前,大棚分布在 d 区和 c 区。由于土地轮种需要,2014 年至 2015 年初 a、b、e 区域陆续建满大棚,而 c 区大棚被拆除,d 区东侧一部分大棚被拆除。异常变化也是自 2014 年 10 月开始的,因此计算分 2014 年 10 月前后两个时间节点。

此外,通过建模计算,在超过 160 m 的距离上,铁质大棚对结果的影响已经非常微小,因此在日后异常核实工作中,可以先结合分层模型和布极距离进行验证,对过远的干扰源予以排除,重点关注测区周边较近范围内的干扰源调查。

(2) 通过有限元数值计算表明,周口台测区附近的金属大棚会引起电阻率值的下降,金属大棚对观测值的总体影响趋势与实际观测值的下降异常同步,这正是局部低阻体影响所致。尤其是 EW 测道破年变现象,在异常后一直处于新的低位重新出现年变形态,NW 测道在 2015 年底逐步恢复平稳,在新的低值区间变化,这种现象显示,很可能是在一个新的观测环境下达到了新的平衡。因此,2014 年 10 月周口台出现的 EW 测道破年变和 NW 测道下降的变化,更多的是因为环境干扰引起,在观测数据跟踪分析中应作为场地环境干扰予以分析。

利用有限元方法,可以从量级上和趋势上对台站周边的干扰情况进行计算分析,对资料出现异常变化后快速判定异常性质有一定的参考意义。

致谢:中国地震台网中心解滔、卢军对建模提出了许多宝贵的建议,中国地震局地球物理勘探中心徐顺强提供了高密度电法和电测深测试结果,一并表示衷心感谢。

### 参考文献(References)

[1] 赵玉林,钱复业.唐山 7.8 级强震前震中周围形变电阻率的下

- 降异常[J].地球物理学报,1978,21(3):181-190.
- ZHAO Yulin, QIAN Fuye. Electrical Resistivity Anomaly Observed in and around the Epicentral Area Prior to the Tangshan Earthquake of 1976[J]. Chinese Journal of Sinica, 1978, 21(3):181-190.
- [2] 高立新, 黄根喜, 阎海滨, 张北一尚义 6.2 级地震(1998-01-10)前倾斜与地电阻率前兆异常[J]. 地壳形变与地震, 1999, 19(4):88-90.
- GAO Lixin, HUANG Genxi, YAN Haibin. The Dependable Precursory Anomaly Before Zhangbei Shanyi  $M_s$ 6.2 Earthquake Occurred On January. 10. 1998[J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1999, 19(4):88-90.
- [3] 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.
- ZHANG Xuemin, LI Mei, GUAN Huaping. Anomaly Analysis of Earth Resistivity Observations before the Wenchuan Earthquake[J]. Earthquake, 2009, 29(1):108-115.
- [4] 康云生, 安海静, 马可兴, 等. 天水地电阻率地表与井下多种观测方式的试验分析[J]. 地震工程学报, 2013, 35(1):190-195.
- KAN Yunsheng, AN Haijing, MA Kexing, et al. Test Analysis on Geoelectrical Resistivity Observation Combining the Surface and Deep-well Methods at Tianshui Seismic Station in Gansu Province [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(1):190-195.
- [5] 解滔, 卢军, 李美, 等. 地理钢缆对宝昌台地电阻率干扰的定量分析[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(2):727-734.
- XIE Tao, LU Jun, LI Mei, et al. Quantitative Analysis of Disturbance Caused by Burned Wire rope in Baochang Geoelectric Resistivity Station [J]. Progress in Geophysics, 2013, 28(2):727-734.
- [6] 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 1):121-126.
- NING Yaling, WANG Lihua, CHENG Ziyang, et al. Descending Trend Analysis of Geo-resistivity at Linfen Seismic Station Using Finite Element Method [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(Supp 1):121-126
- [7] 王同利, 李妍, 武晓东, 等. 延庆台地电阻率铁质干扰的有限元模拟[J]. 地震学报, 2017, 39(4):520-530.
- WANG Tongli, LI Yan, WU Xiaodong, et al. The Finite Element Modelling of Iron Interference on Earth Resistivity of Yanqing Station [J]. Acta Seismologica Sinica, 2017, 39(4):520-530.
- [8] 解滔, 卢军. 地表固定干扰源影响下地电阻率观测随时间变化特征分析[J]. 地震地质, 2016, 38(4):922-936.
- XIE Tao, LU Jun. Apparent Resistivity Temporal Variation Characteristics Affected by the Fixed Disturbance Source on Surface of Measuring Area [J]. Seismology and Geology, 2016, 38(4):922-936.
- [9] 解滔, 卢军. 地电阻率三维影响系数及其应用[J]. 地震地质, 2015, 37(4):1125-1135.
- XIE Tao, LU Jun. Three-dimensional Sensitivity Coefficients of Apparent Resistivity and Preliminary Application [J]. Seismology and Geology, 2015, 37(4):1125-1135.