

于磊, 陈俊, 刘泽民, 等. 合肥形变台地电阻率观测映震能力分析[J]. 华南地震, 2019, 39(2): 79–85. [YU Lei, CHEN Jun, LIU Zemin, et al. Seismic Reflectivity Analysis of Ground Resistivity Observation at Hefei Deformation Station[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(2): 79–85]

合肥形变台地电阻率观测映震能力分析

于磊¹, 陈俊², 刘泽民², 戚浩², 孙军¹, 王哲¹

(1. 安徽省合肥形变台, 安徽 肥东 231607; 2. 安徽省地震局, 合肥 230031)

摘要: 利用合肥形变台地电阻率建设以来的观测资料, 排除了常见干扰后, 对其进行原始数据、归一化变化速率、各向异性度的分析。通过对比分析, 得到合肥形变台地电阻率观测与地震有较好的对应关系, 分析 2.0 以上近震及较大远震的映震情况, 从而得出合肥形变台地电阻率的映震能力。

关键词: 地电阻率; 映震能力; 归一化; 各向异性度

中图分类号: TU43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2019)02-0079-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.02.012

Seismic Reflectivity Analysis of Ground Resistivity Observation at Hefei Deformation Station

YU Lei¹, CHEN Jun², LIU Zemin², QI Hao², SUN Jun¹, WANG Ze¹

(1. Hefei Deformation Seismostation of Anhui Province, Feidong 231607, China;

2. Anhui Earthquake Agency, Hefei 230031, China)

Abstract: After eliminating common interference, observation data since the construction of the earth resistivity at Hefei deformation Station is used here to be analyzed on its original data, normalized change rate and anisotropy. Through comparative analysis, it is found that the earth resistivity observation at Hefei Deformation Station has a good correspondence with earthquakes, and the reflection of near earthquakes and larger distant earthquakes above 2.0 are analyzed, thus the reflection ability of ground resistivity at Hefei Deformation Station is obtained.

Keywords: Earth resistivity; Seismic reflectivity; Mormalization; Anisotropy

收稿日期: 2017-12-27

基金项目: 中国地震局“三结合”课题(171305)和安徽省地震科技创新专项(CX201802)联合资助

作者简介: 于磊(1983-), 男, 研究生, 工程师, 主要从事地电监测研究工作。

E-mail: 163yulei@163.com.

通讯作者: 陈俊(1982-), 男, 研究生, 高级工程师。

E-mail: shanyejunjie@163.com.

0 前言

在“背景场项目”期间,安徽省地震局在合肥形变台新建了地电阻率观测手段,并于2013年4月开始观测,产出了连续、可靠的观测数据,目前已积累了4年多的资料,对于该地电阻率变化是否映震,观测中是否受到非震因素的影响,需要分析研究。

本文应用2013年4月以来该地电阻率观测资料(观测数据、工作日志等)分析地电阻率变化的影响因素从而排除非震干扰。排除干扰变化后,分析、研究台站周边中地震和华东地区显著地震前地电阻率变化,总结该观测资料中可能存在的地震前兆信息,以期分析该台地电阻率观测的映震能力。

1 台站基本情况

合肥形变台位于合肥东32 km,为丘陵岗地微地貌,地质构造位置特殊(图1)。郯庐断裂带两侧的大别、苏鲁造山带之间的变质岩为张八岭隆起。张八岭隆起的北段主要为变质程度较低的张八岭群出露区;南段是变质程度较高的肥东群杂岩出露区,在这个出露区中形成了早白垩世郯庐左旋走滑韧性剪切带。张八岭群出露区处于肥东群变质杂岩的上部层位,是张八岭群出露区的主体。其东部为北北东向的震旦系和寒武—奥陶系,西部为中—新生代发育的合肥盆地,东西部之间为向西陡倾的控盆正断层。在郯庐断裂带早白垩世左行平移中这一层位表现为局部的脆性断裂活动,由此保存着华北、华板块碰撞造山过程中的构造。

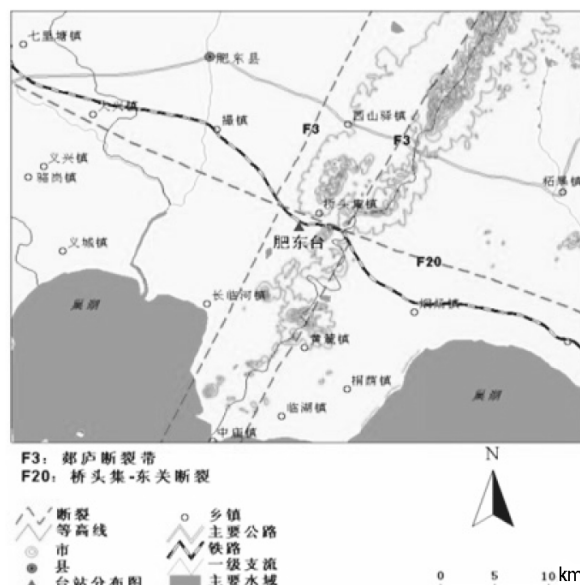


图1 台站地质构造

Fig.1 Station geological structure

地电测区位于肥东县桥头集镇陈家洼村民组,布极区有村民自种树木及野生杂树分布,自东向西有渐低的较缓坡度,南北向无坡度,测区内有一些水田,布极区内无建筑设施和地下管线,观测环境符合地电阻率观测要求。地电阻率观测布设有NS向、EW向两个测道,采用对称四极埋设(图2),电极为 1×1.1 m的铅板;电极埋深2.0 m,接地电阻变化范围一般在 $2 \sim 5 \Omega$;外线路采用塑料皮铜质独芯线,供电极距AB为600 m,测量极距MN为200 m,线路以水泥杆架空。电测深曲线为HA型,此处地下基岩均在不很厚的第三系红色砂岩;地表覆盖层(浮土)不厚,大致在0~2.5 m,80~130 m为含水层。NS、EW向电测深曲线见图2(b)。

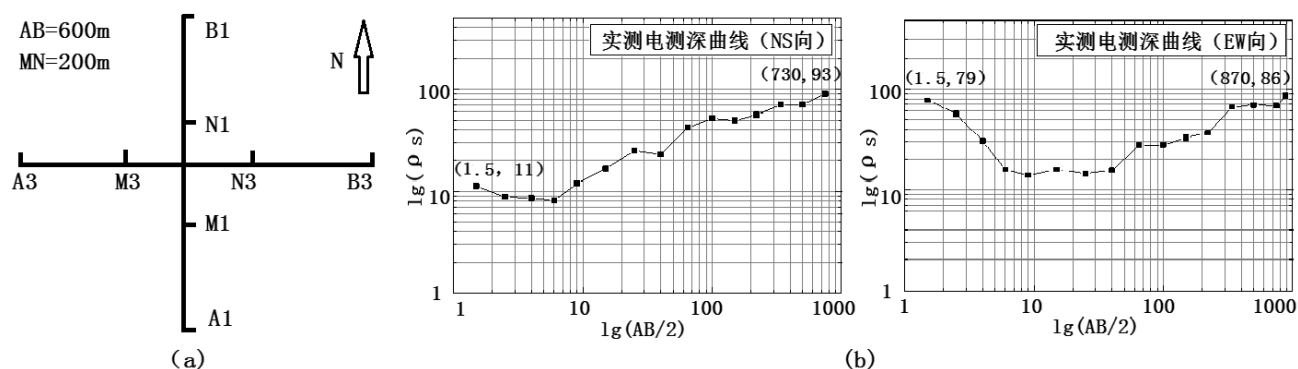


图2 合肥形变台地电阻率观测布极示意图(a)与NS、EW向电测深曲线(b)

Fig.2 Geo-resistivity observation and pole distribution diagram(a) of Hefei Deformation Station and electrical sounding curves in NS (b) and EW(C) directions

2013年4月始测以来,观测数据连续率、完整率较高,维持在99.98%以上。观测期间,除2016年9月24日至10月10日进行外线路改造外,其他时间段内外线路、电极、仪器等无变化。

2 合肥形变台地电观测中常见的干扰

通过2013—2017年的观测,认为合肥形变台地电观测存在一些经常发生的干扰影响,以下根据具体事例介绍合肥形变台地电阻率干扰情况。

2.1 季节性变化影响(含降雨干扰)

李菊珍等^[9]认为地电阻率的年变化比较复杂,不同的地电台有不同的变化,有时这种差异还很大。台站所在地区7、8、9月份为雨季,降雨较多,11、12、1月份为旱季,降水较少。在日常观测中,台站地电阻率受当地降水量影响较大,尤其是在干旱时节突发短时间降水,地电阻率数据会随着降水发生快速的相应变化。同时不同方向

的观测数据对于降水的反应不尽相同,上升或者下降都曾出现,具体原因或与不同方位电极的环境及降水量大小有关。合肥形变台地电阻率年变幅度较小,例如2017年地电阻率年变化幅度2.21%、EW向2.45%,符合地电观测规范不超过3%的要求。两个观测方向中NS向的年变化基本上是冬高夏低,夏季的7~8月较低,冬季12月、次年1月较高,而EW向规律不明显。

2.2 观测装置系统干扰

ZD8M仪器、观测外线路和铅板电极等构成了台站的地电阻观测系统。仪器发生故障、或者外线路出现变化等,都将使观测数据受到影响,在观测曲线上发生明显的变化^[9]。例如:2016年9月25日至10月10日安徽省地震局为台站地电阻观测的外线路进行改造,在钢缆上增加瓷瓶,改造过程中,电阻率南北向下降了3.1%,东西向上升了5.9%,改造后观测系统更加稳定,观测数据产出更加可靠。

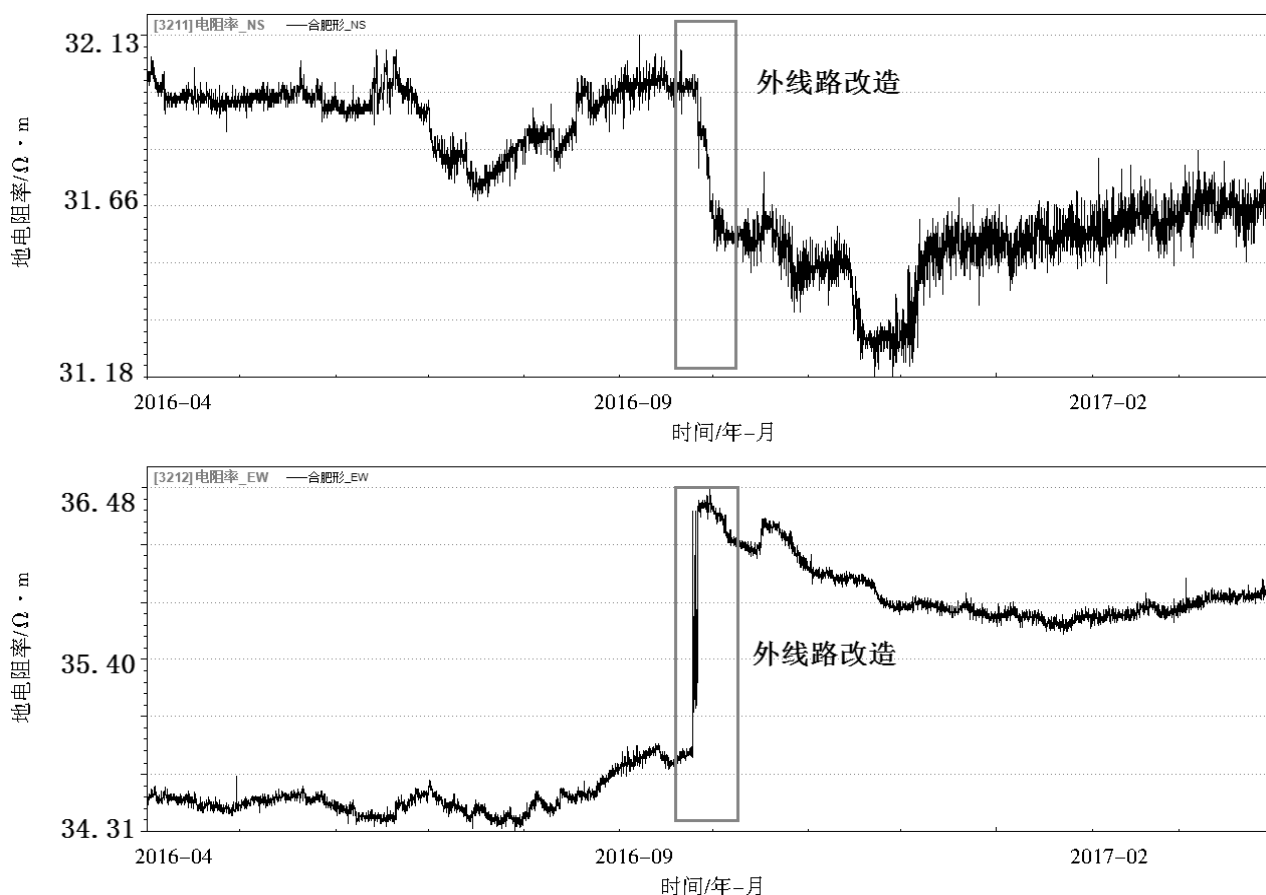


图3 2016-09-25~2016-10-10 地电线路改造

Fig.3 Rebuilding of electricity lines from 2016-09-25 to 2016-10-10

2.3 人为干扰

在仪器运行过程中，一些人为了人为干扰也对观测数据产生影响，如农田灌溉，电极附近施工等。台站的外观测线路在当地农田范围内，电极就在农田里，在观测过程中，当地的农业生产活动会对数据造成影响。如农田灌溉，就相当于一次短时间的大降雨，与降雨不同的是，灌溉可能只是发生在某一个方向的电极上，而不是两个方向电

极都受影响。
如图 4，2016 年 10 月 17 日地电阻率 EW 分量有台阶变化，17 日前一月天气晴好，检查观测系统正常，外线路无变化，而只有 EW 一个方向的数据变化，经排查是 EW 向电极附近一户农田在灌溉，而电极在农田中，受当地村民农田灌溉影响，数据产生变化，NS 向电极附近的农田没有灌溉，没有数据变化。

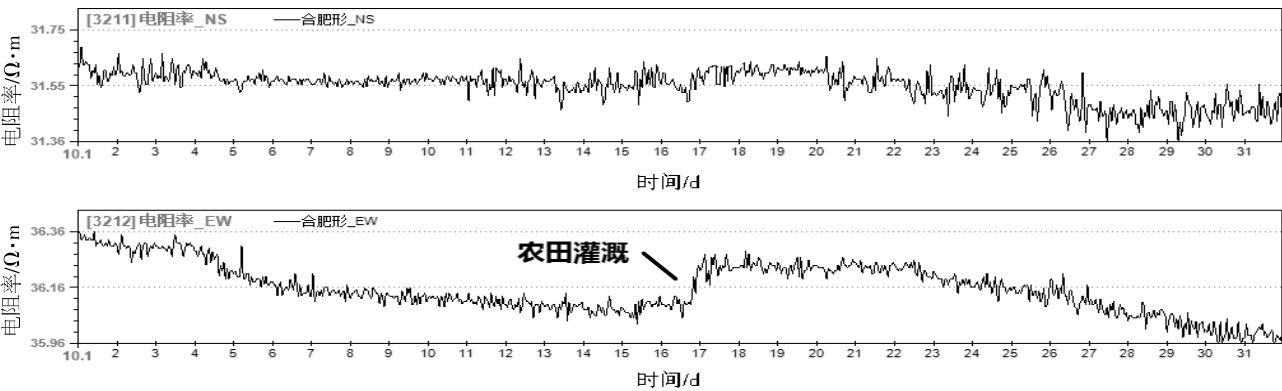


图 4 2016 年 10 月农田灌溉影响
Fig.4 Impact of irrigation on farmland in October 2016

3 震前异常分析

地电测量仪器在测量时首先测量自然电位，然后消去观测到的自然电位，留下人工供电电位差。如果短时间内，自然电位变化剧烈变化，则不能完全消除自然电位，从而造成数据失真变化。据郝锦琦等^[4]描述，地震的孕育过程一般有岩石的破裂，这期间自然电位有较大的脉冲变化，地电

阻观测仪能记录到这种变化，并反映为数据的波动。
合肥形变台地电阻率观测期间，安徽和华东地区发生了数次地震，参考 2014 年 3 月至 2017 年 12 月台站周边发生的影响较大地震，选取东、南、西、北各个方向地震(表 1)作为分析对象，整理台站在地震发生前 3 个月内的数据，认为在某些地震前，合肥形变台地电阻率数据有明显的异常。

表 1 台站周边 2.0 级以上及各方方向 5.0 级以上地震三要素统计(2014-03~2017-12)
Table 1 Statistics on the three elements of earthquakes above 2.0 and above 5.0 in all directions around the station (201403-201712)

序号	方位	发震时间/年-月-日 h: min	发震地点	震级/ M_s	震中距/km
1	东	2016-04-16 00: 25	日本九州岛	7.3	2358
2		2016-04-15 17: 55	安徽芜湖市无为县	3.0	75
3	西	2017-08-26 23: 15	安徽六安市金寨县	2.6	138
4		2017-04-29 00: 53	安徽六安市金寨县	3.1	138
5		2016-04-13 21: 55	缅甸	7.2	2685
6		2016-02-03 05: 42	安徽六安市裕安区	2.6	58
7		2015-05-20 04: 24	安徽省六安市金安区	3.3	55
8		2014-10-22~2015-02-01	安徽省六安市金寨县小震群	1.1~3.0	138
9		2014-04-20 16: 00	安徽六安市霍山县	4.3	120

(转下表)

(接表 1)

序号	方位	发震时间/年-月-日 h: min	发震地点	震级/ M_s	震中距/km
10	南	2016-09-24 14:21	安徽合肥市庐江县	2.0	62
11		2016-04-27 23:17	台湾花莲县海域	5.6	972
12		2016-02-24 23:17	安徽六安市舒城县	2.1	46
13		2014-08-01 16:18	安徽省安庆市宿松县	3.0	245
14		2014-04-16 22:16	江西省九江市武宁县	2.6	310
15	北	2017-05-18 20:59	合肥市肥东县	2.1	36
16		2017-03-10 16:22	安徽省州市埇桥区	2.2	210
17		2015-03-23 04:27	阜阳市颍泉区	3.6	195
18		2015-03-14 14:13	安徽省阜阳市市辖区	4.3	186
19		2014-07-25 00:48	安徽省合肥市肥东县	3.2	36
20		2014-03-16 20:04	安徽省合肥市长丰县	2.9	80

从表 1 的地震, 很难看出震前、震中、震后有明显的异常, 因此我们引入了归一化变化速率和各向异性度分析的方法来进行异常的总结。

3.1 归一化变化速率

不同台站所在的地理位置不同, 不同的地理位置有不同的物理介质, 地电阻率观测不同介质的敏感程度不同, 比如有些台站附近以岩石为主, 而有些台站附近以土为主; 有些台站的岩石比较破碎, 而有些台站的岩石比较完整。另外, 在不同台站, 不同的测区内, 地电阻率有不同的基值, 所以要确定一个准确的异常幅度值来进行数据分析就成了不可能完成的任务。在异常分析中, 归

一化变化速率方法在保留了原有曲线形态的基础上, 很好地解决了这个难题^[1,9]。

$$\rho_{si}=(R_i \cdot K_i-m)/(\sigma_{n-1}+\varepsilon), (i=n, n+1 \cdots N)$$

运用归一化速率对原始日均值数据进行分析, 能够看到与历次地震对应较好的异常信息, 在短期异常中, 异常信息尤其明显。如图 5, 每次地震基本对应着归一化数据曲线的突跳。这些突跳与地震对应较好, 从时间上分析似为同震异常, 异常的形态和幅度上有较大不同。分析其原因, 可能是震级、震中距不同, 同时不同的电阻率灵敏度与不同的地质构造、震中方位和应力加载方向等因素有关, 从而引起数据不同形态和幅度的变化。

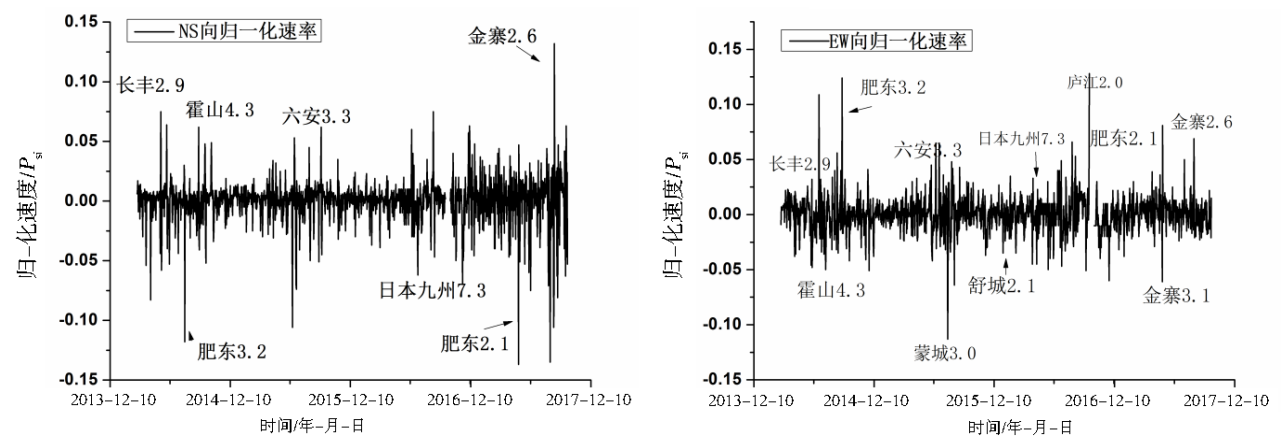


图 5 归一化速率与地震的对应关系
(a)NS 向归一化速率; (b)EW 向归一化速率
Fig. 5 Correlation between normalization rate and earthquake
(a)NS normalization rate; (b)EW normalization rate

有异常的时间段和幅度如图 5 和表 2 (没有异常的不予列出), 可以得出:

- (1)2017 年 08 月 21 日开始, 归一化数值出现

异常 5 d 后发生金寨 2.6 级地震; 2017 年 5 月 4 日开始, 归一化数值异常 14 d 后发生肥东 2.1 级地震。

(2)2016 年 09 月 22 日开始, 归一化数值异常 2 d 后发生庐江 2.0 级地震; 2016 年 4 月 7 日开始, 归一化数值异常 9 d 后发生日本九州 7.3 和安徽无为 3.0 级地震。

(3)2015 年 5 月 11 日开始, 归一化数值异常 9 d 后发生六安市金安区 3.3 级地震。

(4)2014 年 4 月 12 日开始, 归一化数值异常 8 d 后发生霍山 4.3 级地震; 2014 年 3 月 13

日开始, 归一化数值异常 3 d 后发生长丰县 2.9 级地震。

分析归一化数值与地震发生的关系, 在现有震例的基础上总结出, 合肥形变台地电阻率数据在 100 km 范围内对 2.0 级以上地震有反应, 150 km 范围内对 2.6 级以上地震有反应, 对远距离的 7.3 级以上地震有反应。

表 2 合肥形变台地电阻率归一化异常统计

Table 2 Normalized anomaly statistics of resistivity of composting variable Mesa

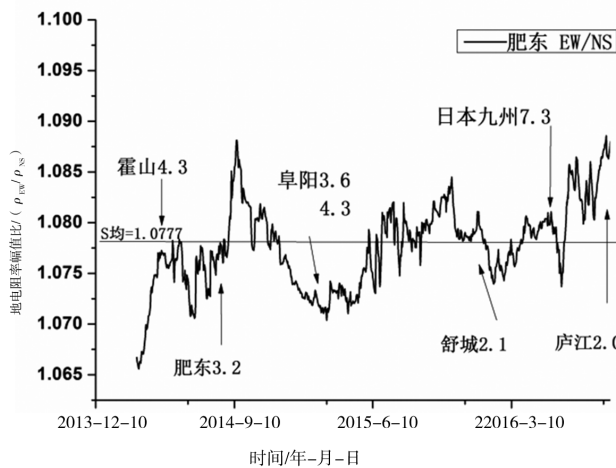
发震时间/ 年-月-日	震中	震级/Ms	震中距(km)	异常开始时间/ 年-月-日	异常幅度/(%)	异常特征	距发震时间/d
2017-08-26	安徽省金寨县	2.6	138	2017-08-21	110	NS 上升 EW 反复	5
2017-05-18	安徽省肥东县	2.1	36	2017-05-04	66	NS 下降 EW 下降	14
2016-09-24	安徽省庐江县	2.0	62	2016-09-22	95	NS 不变 EW 上升	2
2016-04-16	日本九州岛	7.3	2358	2016-04-07	40	NS 下降 EW 反复	9
2016-04-15	安徽省无为县	3.0	75	2016-04-07	40	NS 下降 EW 反复	9
2016-02-24	安徽省舒城县	2.1	46	2016-02-14	80	NS 下降 EW 下降	10
2015-05-20	六安市金安区	3.3	55	2015-05-11	80	NS 上升 EW 上升	9
2014-07-25	肥东县	3.2	36	2014-07-24	90	NS 下降 EW 上升	1
2014-04-20	安徽省霍山县	4.3	120	2014-04-12	50	NS 上升 EW 下降	8
2014-03-16	长丰县	2.9	80	2014-03-13	39	NS 上升 EW 上升	3

3.2 各向异性度分析

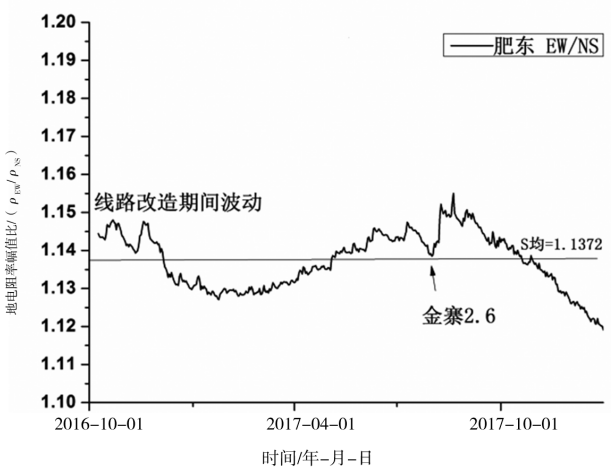
在数据异常分析和一阶差分分析中, 有些地震并不能有很好的反映, 我们引用了各向异性度的分析方法^[11]。

地震的过程中伴随着应力的积累和释放。当应力在某一区域积累, 此区域地下物质的电性结

构就会发生改变^[1], 根据地电阻观测原理, 电阻率会受到影响而变化。一般情况下, 电阻率 NS、EW 两个方向的幅值比 ρ_{EW}/ρ_{NS} 在不同的时间段内应该是稳定的, 但如果有一方向应力的变化, 导致这个方向地下物质电性结构的改变, 这个比值往往有所变化^[12]。首先计算出合肥形变台地电阻率



(a) 2014-03~2016-09



(b) 2016-10~2017-12

图 6 S 值与地震对应关系

Fig.6 Correlation of S value to earthquake

表 3 合肥形变台地电阻率各向异性度 S 值与地震对应关系

Table 3 Correlation between S value of anisotropy of resistivity of composting variable Mesa and earthquake

地震	发震时间	震中距/km	S 异常时间/d	S 值异常幅度(S 末- S 始)/ S 年均值
2017 金寨 2.6 级	2017-08-26	138	30	2.8%
2017 肥东 1.7 级	2017-02-15	35	20	0.6%
2016 庐江 2.0 级	2016-09-24	62	40	2.2%
2016 九州 7.3 级	2016-04-16	2358	30	1.2%
2016 舒城 2.1 级	2016-02-24	46	35	1.2%
2015 阜阳 4.3 级	2015-03-14	186	75	0.8%
2014 金寨小震群	2014-08~2014-11	138	60	2.3%
2014 肥东 3.2 级	2014-07-25	36	50	1.9%
2014 霍山 4.3 级	2014-04-20	120	45	2.5%

由图 6 和表 3, 可以看出:

(1)2014 年 3 月份开始, S 值持续上升 45 d 后发生霍山 4.3 级地震, 然后 2014 年 6 月份开始, S 值较大波动 50 天后发生肥东 3.2 级地震。

(2)2015 年阜阳两次地震, S 值变化不明显, 可能是因为震级较少, 并且离台站较远。

(3)2016 年舒城和庐江地震分别有 35 天和 40 天的异常变化。

(4)2017 年 2 月份, 肥东 1.7 级地震, S 值异常不明显; 8 月份 S 值大幅波动 30 天左右, 发生金寨 2.6 级地震。

分析 S 值与地震发生的关系, 可知 S 值也突出了异常的变化, 在现有震例的基础上总结, 合肥形变台地电阻率数据在 100 km 范围内对 2.0 级以上地震有反应, 150 km 范围内对 2.6 级以上地震有反应, 同时能反应日本九州等 7.3 级以上地震。

4 结语

用原始数据、归一化变化速率、各向异性度分析的结果, 与表 1 中东、南、西、北各方向的地震进行综合比较, 得出以下结论:

(1)合肥形变台地电阻率观测数据主要受降水、季节性变化、人为干扰等因素影响。这些影响因素一般持续较短, 且通过总结有较好的识别性, 便于排除干扰, 不过多影响对数据异常的分析。

(2)通过应用归一化速率, 各向异性度等分析方法, 得到合肥形变台地电阻率观测与地震有很好的对应关系。依据现有震例, 100 km 范围内对 2.0 级以上地震有反应, 150 km 范围内对 2.6 级以上地震有反应, 同时对日本九州等 7.3 级以上地震

也有反应。

(3)分析总结了一些异常, 这些异常为以后异常核实、前兆会商等提供了依据。当前该台观测时间短、可靠震例少, 随着观测数据的增加, 应能够更准确地分析该台地电阻观测的映震能力。

参考文献:

[1] 杜学彬. 在地震预报中的两类视电阻率变化[J]. 中国科学, 2010, 40(10): 1321-1330.

[2] 何康, 程鑫, 李军辉, 等. 安徽省数字化地电阻率干扰与短临异常研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2010, 31(4): 86-90.

[3] 郝锦绮, 刘力强, 龙海丽, 等. 双轴压力下岩样自电位变化实验的新结果[J]. 地球物理学报, 2004, 47(3): 475-482.

[4] 刘君, 杜学彬, 范莹莹, 等. 甘肃岷县漳县 $M_{6.6}$ 地震前的地电阻率变化[J]. 地震工程学报, 2013, 35(4): 819-826.

[5] 李菊珍, 兰从欣, 鲁跃, 等. 北京数字化地电阻率干扰识别与异常分析[J]. 防灾技术高等专科学校学报, 2004, 6(4): 9-13.

[6] 兰宁, 蒙和平. 强磁扰对视电阻率观测的影响[J]. 地震地磁观测与研究, 1998, 19(6): 35-38.

[7] 钱家栋, 马钦忠, 李劲松. 汶川 8.0 级地震前成都台 NE 测线视电阻率异常的进一步研究[J]. 地震学报, 2013, 35(1): 4-17.

[8] 史红军, 赵卫星, 李宁, 等. 吉林地区地电阻率震兆异常对比分析[J]. 世界地质, 2016, 35(3): 865-872.

[9] 徐锡泉, 高昌志, 王亮. 内蒙古宝昌台地电阻率长期观测数据研究[J]. 地震工程学报, 2014, 36(2): 405-412.

[10] 叶青, 杜学彬, 陈军营, 等. 2003 年大姚和民乐-山丹地震 1 年尺度预测[J]. 地震研究, 2005, 28(3): 226-230.

[11] 杜学彬, 阮爱国, 范世宏, 等. 强震近震中区地电阻率变化速率的各向异性[J]. 地震学报, 2001, 23(3): 289-297.

[12] 李伟, 王锋, 皇甫德银. 南京台地电阻率异常与地震的对应关系[J]. 防灾科技学院学报, 2010, 12(2): 32-36.