

彭玉柱, 张世民, 李建章, 2015. 中强地震前周至台地电阻率的异常变化. 震灾防御技术, 10 (2): 455—463.
doi: 10.11899/zzfy20150227

中强地震前周至台地电阻率的异常变化

彭玉柱 张世民 李建章

(陕西省地震局周至地震台, 周至 710402)

摘要 通过对三个震例的分析, 笔者得到了周至台地电阻率观测在地震发生前出现的一些异常变化。其具体表现为: ①在汶川地震发生前, 周至台地电阻率观测在三个测向的日均值都呈缓慢下降, 幅度为 1.0%—3.9%, 从异常变化出现至发震的时间间隔为 1 月左右。②在芦山地震和岷县漳县地震发生前, 从 2011 年 9 月开始, 周至台地电阻率观测在三个测向的日均值都呈显著下降且幅度较大。其中, 芦山地震发生在异常变化恢复(上升)的过程中, 从出现异常到发震的间隔为 16 个月; 而岷县漳县地震也发生在异常恢复(上升)的过程中, 但从异常出现到发震的间隔为 19 个月。表明周至台地电阻率观测能较好地反映出地震的前兆信息, 具有一定的映震能力, 这对陕西及相邻地区的地震监测和预报可以起到一定的作用。

关键词: 地电阻率 异常特征 观测条件 地震

引言

利用地电阻率的变化可探测到地球浅层岩石介质的电学属性随时间的变化, 其异常变化可用于地震监测。我国的地电阻率观测与研究开始于 1966 年邢台地震之后, 至今已积累了大量的大震、强震和中地震的震例。陕西省周至地电阻率观测台是“十五”期间建造的, 其位于陕西中部的关中地区, 主要承担本地区的地震监测工作。在台站投入运行期间, 在距台站 660km 范围内发生了 3 次地震, 分别是 2008 年汶川 8.0 级地震、2013 年芦山 7.0 级地震和 2013 年岷县漳县 6.6 级地震。本文针对上述 3 次地震发生前, 周至台地电阻率观测出现的日均值曲线异常变化进行了分析和总结, 以期对地震活动趋势判断提供一定的参考。

1 周至台概况

周至地电阻率台属国家基本地电台, 其位于陕西省西安市周至县广济镇施家庵村与高家庄村之间, 地理位置为北纬 34°09', 东经 108°13', 海拔高度约 500m。

在地质构造上, 周至台地处汾渭断陷盆地西安-周至凹陷西端, 秦岭北缘大断裂与岐山-马召断裂的交汇地带。从台站向北约 20km 是渭河断裂, 它是鄂尔多斯块体南缘的边界断裂带。同时, 周至台的测区位于陇县-岐山-马昭断裂与周至-余下断裂的交会处, 距秦岭北鹿山前断裂仅 4km。由于上述几条断裂的构造活动较活跃, 因此在北西向的断裂带上曾发生过多

[收稿日期] 2015-04-09

[作者简介] 彭玉柱, 男, 生于 1957 年。工程师。主要从事台站管理与监测工作。E-mail: 630402943@qq.com

次中小地震，具体如图 1 所示。

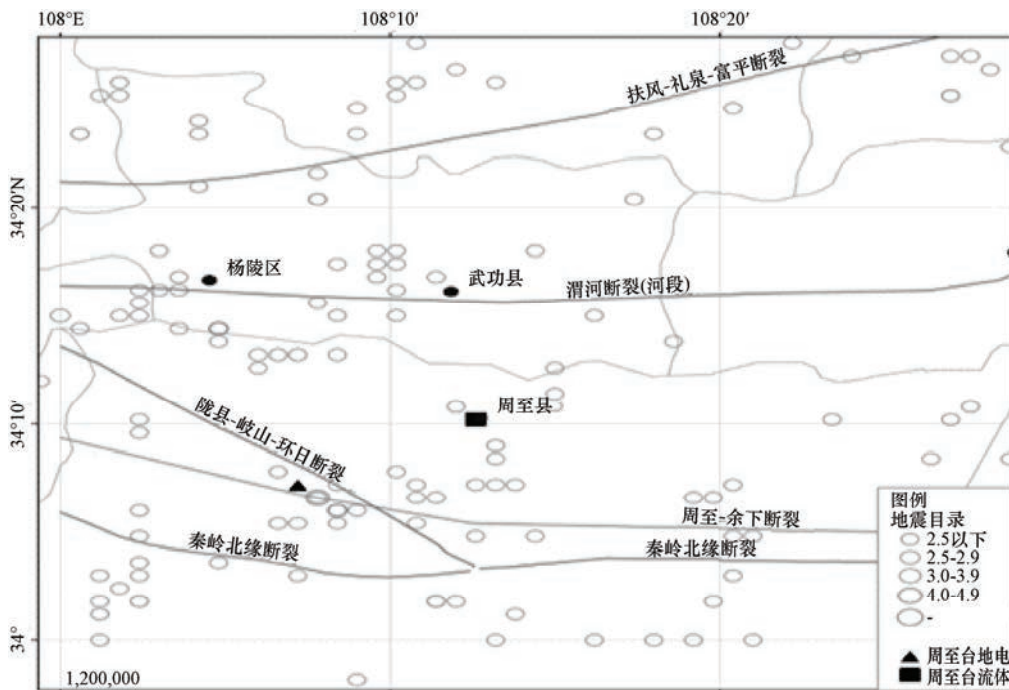


图 1 周至地电台地质构造及中小地震分布图

Fig. 1 Geological structure map at Zhouzhi seismic station

周至台址位于渭河以南的平原地区，测区为基本农田，地形平坦开阔，布极区高差小于 2m。测区内无大型灌溉水井，无水渠和沟壑。测区外围为村庄，地面未铺设（或埋地）金属管道。同时，发射塔、铁路、公路主干线、高压线路和变电站等主要干扰源距离测区相对较远。根据地质成井资料记录，测区覆盖层为黄土且含有夹砂和砾石等。其中地面以下 40m 为土层，50—80m 为土层夹沙。潜水位为 80m，最大冻土深度为 1.0m。

周至台使用的地电阻率观测仪器为 ZD8BI 型数字地电仪。电极的方向基本上沿着北西向的马召-岐山断裂带的平行、垂直和斜道方向布设，即 NS、NW 和 N45°E 三个测向，每个测向均采用四极对称装置，M 极为三个测向共用，如图 2 所示。其中，供电极距 A_1B_1 、 A_2B_2 、 A_3B_3 均长 1.2km，测量极距 MN_1 、 MN_2 、 MN_3 均长 0.4km。电极为铅板，电极埋深 3m，外线路为电缆架空，具体如表 1 所示（彭玉柱等，2013）。

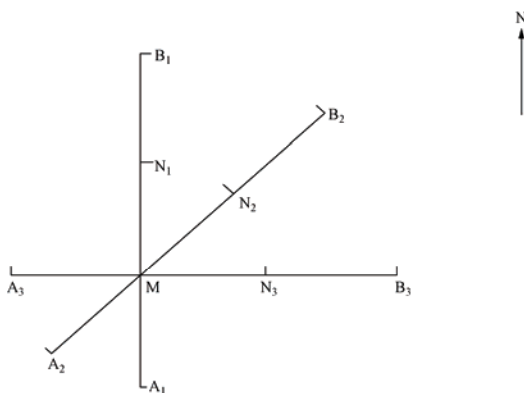


图 2 周至台地电阻率布极示意图

Fig. 2 Schematic map of electrode distribution of geo-resistance observation at Zhouzhi seismic station

表 1 周至地震台地电阻率观测布极参数

Table 1 Parameters of electrodes of geo-resistance observation at Zhouzhi seismic station

| 布极方位 | 极距 (km) | 极距 (km) | 装置系数 K | 备注 |
|-------|---------|---------|----------|-----|
| NS | 1.2 | 0.4 | 2.513 | 铅电极 |
| N45°E | 1.2 | 0.4 | 2.513 | 铅电极 |
| NW | 1.2 | 0.4 | 2.513 | 铅电极 |

周至台自 2007 年 5 月 5 日正式投入观测以来, 测区观测环境一直未有明显变化, 观测数据连续率为 98%, 完整率为 96%, 供电线路漏电系数符合《地震及前兆数字观测技术规范(电场观测)》(中国地震局科技监测司, 2001) 的要求, 观测数据精度系数 f 值均在 0.99 以上, 如表 2 所示。

表 2 周至台地电阻率漏电系数及观测值精度

Table 2 Ratio of electric leakage and observed accuracy of geo-resistance at Zhouzhi seismic station

| 年份 | 测向 | 漏电系数 ε_1 (100%) | 漏电系数 ε_2 (100%) | 精度值 f |
|------|-------|-----------------------------|-----------------------------|---------|
| 2009 | NS | 0.000—0.028 | 0.00—0.01 | 0.9987 |
| | N45°E | 0.000—0.021 | 0.00—0.01 | |
| | NW | 0.000—0.016 | 0.00—0.01 | |
| 2010 | NS | 0.000—0.028 | 0.00—0.01 | 0.9983 |
| | N45°E | 0.000—0.021 | 0.00—0.01 | |
| | NW | 0.000—0.016 | 0.00—0.01 | |
| 2011 | NS | 0.014—0.020 | 0.03—0.13 | 0.9985 |
| | N45°E | 0.008—0.019 | 0.001—0.03 | |
| | NW | 0.008—0.01 | 0.03—0.06 | |
| 2012 | NS | 0.000—0.028 | 0.00—0.01 | 0.9987 |
| | N45°E | 0.000—0.021 | 0.00—0.01 | |
| | NW | 0.000—0.016 | 0.00—0.016 | |
| 2013 | NS | 0.000—0.039 | 0.00—0.05 | 0.9991 |
| | N45°E | 0.002—0.028 | 0.01—0.02 | |
| | NW | 0.002—0.049 | 0.00—0.01 | |

从表 2 可以看出, 周至台地电阻率观测环境稳定, 外线路绝缘性较好, 观测值比较稳定。

2 周至台地电阻率异常变化分析

在周至台投入运行期间, 在距台站 660km 范围内发生了 3 次地震, 它们分别是 2008 年汶川 8.0 级地震、2013 年芦山 7.0 级地震和 2013 年岷县漳县 6.6 级地震。上述 3 次地震的震中分别距周至台 572km、660km 和 380km。其中, 汶川地震和芦山地震发生在龙门山断裂带, 岷县地震发生在临潭-宕昌断裂带, 3 次地震都属于发生在南北地震带北段的地震。在这 3 次地震发生前, 周至台地电阻率观测都表现出了明显的异常变化。

在确认上述 3 次地震发生前周至台地电阻率观测资料已经剔除了各种干扰的情况下, 笔者从中筛选出了距台站约 600km 的异常变化资料, 对异常时间及特征进行了如下分析。

2.1 汶川 $M_S8.0$ 级地震异常

2008年5月12日汶川发生了 $M_S8.0$ 级大震,震中到周至台的距离为 572km。此次大震发生后,在沿汶川—陕西宁强的 NE 向条带内又发生了数十次 $M_S5.0$ —6.0 级余震,而周至台恰好位于汶川地震序列 NE 条带的延伸方向上。虽然主震震中距离周至台相对较远,但其后发生在宁强的 $M_S6.4$ 级强余震,距离周至台仅约 345km。

图 3 是周至台 2008 年地电阻率观测三个测向的 5 日均值曲线。从图中可以看出,NS 测向从 3 月初出现缓慢上升,4 月 9 日开始转为缓慢下降,至 4 月 15 日降至最低值后又略有上升,并在低谷波动,至 5 月 9 日到达最低值,总体下降幅度约 1.0%。自 5 月 9 日之后,NS 测向测值又开始急剧上升,并在上升期间发生了汶川 $M_S8.0$ 级地震,异常特征表现为上升型。从时间上看,从异常出现至地震发生,时间间隔约为 30 天左右(燕明芝等,2002)。同时,N45°E 测向从 4 月 4 日也出现缓慢下降,其下降幅度为 1.9%,4 月 14 日在低谷波动,5 月 9 日之后又开始呈缓慢上升,之后就发生了地震,异常特征表现为上升型,从异常出现至发震的间隔为 35 天。另外,NW 测向从 4 月 10 日也出现缓慢下降,其下降幅度最大为 3.9%,4 月 19 日在低谷波动,至 5 月 4 日之后又开始急剧上升,之后就发生了地震,异常特征表现为上升型,从异常出现至发震的间隔为 26 天。

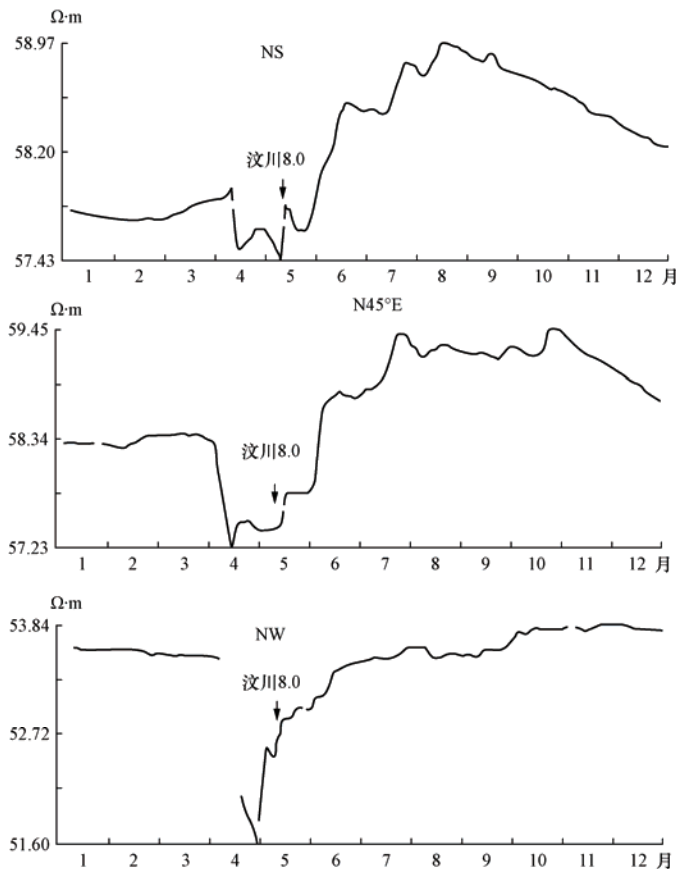


图 3 汶川 8.0 级地震发生前周至台地电阻率 5 日均值曲线

Fig. 3 Five-day average of geo-resistance before Wenchuan $M_S8.0$ earthquake at Zhouzhi seismic station

三个测向的测值在震后几天继续出现持续上升，5月中旬至6月初开始回落或趋于平稳，但从6月开始又持续快速上升，至7月达到高值，之后长时间维持在高值状态。经检查，在出现异常变化的期间，周至台观测系统运行基本正常，观测环境无干扰。

图4是周至台电阻率观测NS和N45°W测向2007年6月15日—2008年7月31日的日均值相对均方差曲线。从图中可以看出，在汶川地震发生前的4月，日均值相对均方差显著增大，从5月初开始又迅速下降，之后就发生了地震，这是典型的地震短临异常。

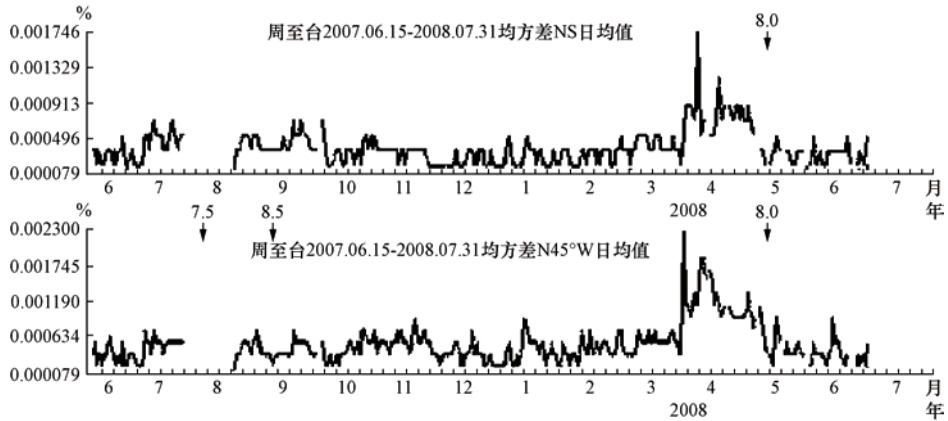


图4 周至台电阻率日均值相对均方差曲线

Fig. 4 Plot of first order frequency difference based on daily average data of geo-resistance at Zhouzhi seismic station

图5是周至台电阻率观测三个测向2008年1月1日—7月31日的日均值一阶差分能量图（杜学彬等，1999）。从图中可以看出，在汶川地震发生前周至台的地电阻率分别在三个测向上出现了较为明显的短临异常。

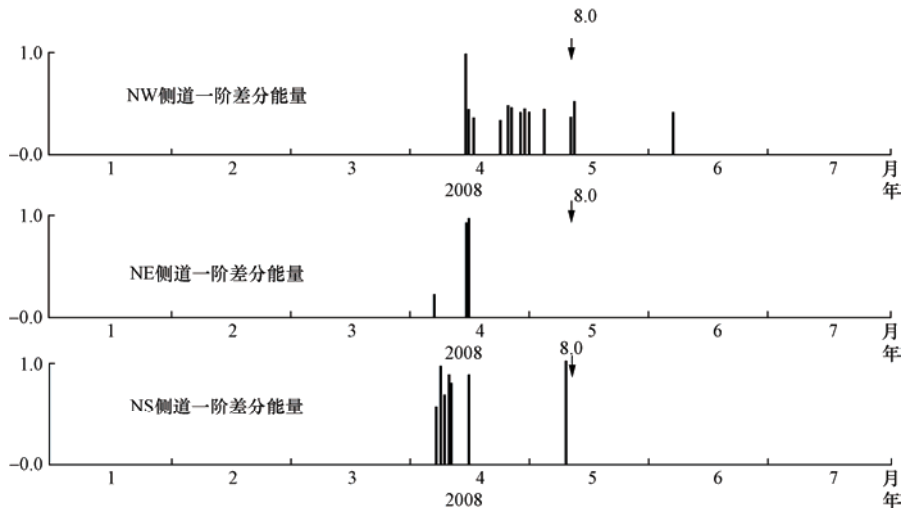


图5 周至台电阻率日均值一阶差分能量图

Fig. 5 Plot of first order energy difference based on daily average data of geo-resistance at Zhouzhi seismic station

2.2 芦山 $M_S7.0$ 级地震和岷县漳县 $M_S6.6$ 级地震异常

图 6 是周至台地电阻率观测多年的日均值曲线。从图中可以看出, 2008—2010 年的日均值具有明显、清晰、规整的年变规律, 其中 NS 和 $N45^\circ E$ 测向具有同步变化的趋势, 具体表现为在年底和年初处于低值阶段, 到了每年的 6—9 月处于高值阶段; 而 NW 测向的年变形态正好与 NS 和 $N45^\circ E$ 测向相反, 具体表现为在年底和年初处于高值阶段, 到了每年的 4—7 月处于低值阶段。

同时, 对比 2011 年的异常变化趋势可发现, 从 2011 年 9 月开始 NS、 $N45^\circ E$ 、NW 三个测向的地电阻率均出现了不同幅度的下降。其中, NS 测向的下降幅度最大为 2.4%, NE 测向的下降幅度为 1.7%, NW 测向的下降幅度为 1.6%。

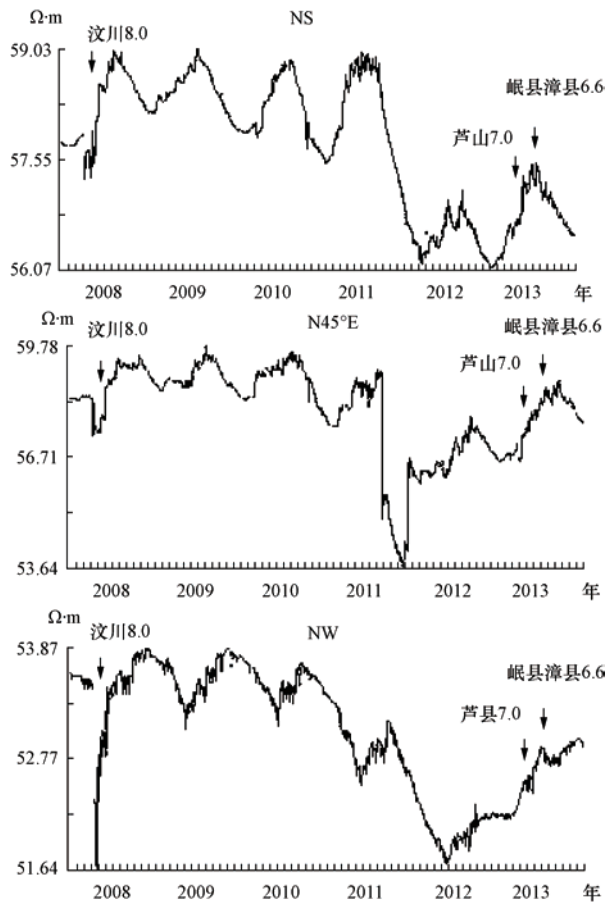


图 6 周至台地电阻率日均值

Fig. 6 Daily average data of geo-resistance at Zhouzhi seismic station

图 7 是周至台地电阻率观测 2013 年的日均值曲线。从图中可以看出, 在芦山 7.0 级地震发生前, 周至台地电阻率观测在三个测向的日均值曲线都经历了一个长期上升的过程, 并在此上升过程中就发生了地震; 而震后的日均值曲线继续呈上升趋势, 异常变化特征表现为上升型, 从异常出现至发震的间隔为 16 个月。

同样，在岷县漳县 6.6 级地震发生前，周至台地电阻率观测在三个测向的日均值曲线都从 5 月下旬开始呈现出上升的趋势，至 7 月初升至高值，并在高值段波动，之后就发生了地震；而震后日均值曲线开始缓慢下降，异常变化特征表现为上升型，从异常出现至发震的间隔约为 19 个月（杜学彬等，2000）。

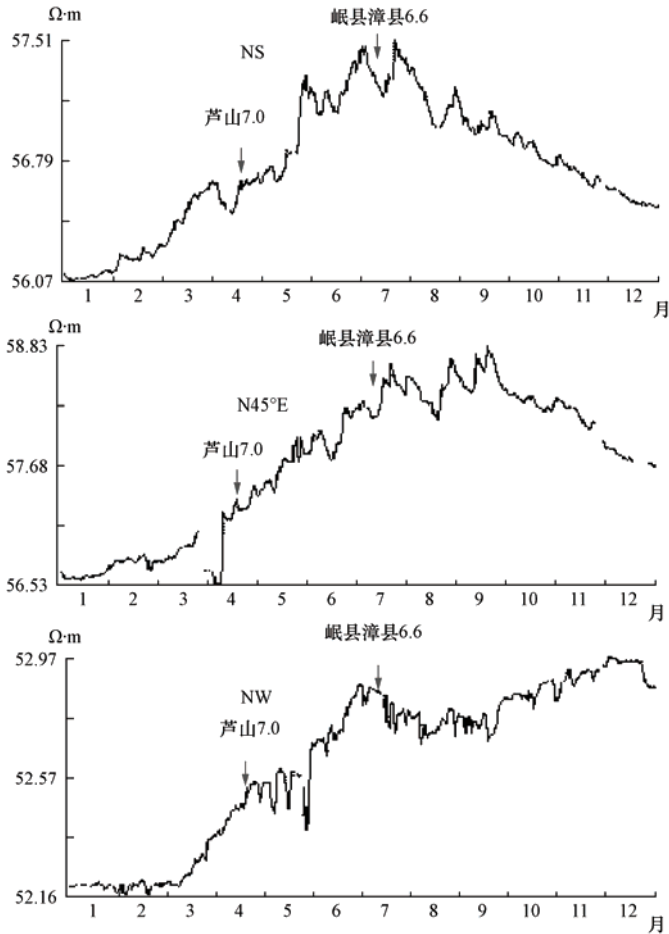


图7 芦山 7.0 级地震和岷县漳县 6.6 级地震前周至台地电阻率观测的日均值

Fig. 7 Daily average data of geo-resistance before Lushan 7.0 earthquake and Minxian-Zhangxian 6.6 earthquake at Zhouzhi seismic station

3 结论与讨论

通过以上震例分析，笔者得到了周至台地电阻率观测在地震发生前出现的一些异常变化。

(1) 在汶川地震发生前，周至台地电阻率观测在三个测向的日均值都呈现出缓慢下降，下降幅度为 1.0%—3.9%，从异常出现至发震的间隔为 1 月左右。

(2) 在芦山地震和岷县漳县地震发生前，从 2011 年 9 月开始，周至台地电阻率观测在三个测向的日均值都呈显著下降且下降幅度较大。其中，NS 测向下降 2.4%，NE 测向下降 1.7%，NW 测向下降 1.6%。芦山地震发生在异常变化恢复（上升）的过程中，从异常出现到发震的

间隔为 16 个月；而岷县漳县地震也发生在异常恢复（上升）的过程中，但从异常出现到发震的间隔为 19 个月。

（3）周至台地电阻率观测能较好地反映出地震的前兆信息，具有一定的映震能力，这对陕西及相邻地区的地震监测和预报可以起到一定的作用。

同时，笔者在三个震例的分析中发现，周至台地电阻率观测日均值有时会出现上升异常，有时会出现反复升降的异常，这表明视电阻率在震前出现的异常能够较好地反映出地震的前兆异常信息。根据地球物理学的相关理论（高振强等，2008），震前地电阻率的变化主要与地下探测体内岩层的受力状态有关。当岩层被压缩时地电阻率应该下降，而当岩层膨胀时地电阻率应该上升。这种异常变化在各个时段可表现为不同的特征，这是因为岩层受力不均匀所致。此外，这种反复升降的异常变化也可能与地壳活动有关，在不同的台站由于所处的地质构造位置不同，所以记录到的地电阻率异常变化也可能是不同的。而地震发生之后，伴随着能量的释放和应力的调整，这种异常变化也逐渐恢复正常，但恢复的时间长短不一，这也是地震发生后存在的共同特征（燕明芝等，2002）。而在笔者分析的 3 次地震发生前，周至台地电阻率都呈明显的长趋势变化和短临异常变化，但异常的形态和幅度却不同，这还有待进一步研究。

致谢：非常感谢赵家骝研究员对本文给予的大力指导和帮助，在此表示衷心感谢。

参考文献

- 杜学彬，卢军等，1999. 地电中短期前兆识别、标志体系及预报方法研究报告.
- 杜学彬，谭大成，2000. 地电阻率 1 年尺度异常时空强丛集现象与地震活动. 中国地震，**16**（3）：283—292.
- 高振强，高跃雄，2008. 临汾地震台地电阻率异常变化特征与盆地内地震关系分析. 地震地磁观测与研究，**29**（6）：36—40.
- 彭玉柱，张世民，李建章，2013. 周至地震台电阻率观测与汶川地震对应性分析. 地震地磁观测与研究，**34**（5/6）：123-128.
- 燕明芝，徐辉等，2002. 甘肃地区地电阻率前兆异常信息的映震效果. 地震地磁观测与研究，**23**（5）：14—23.
- 中国地震局科技监测司，2001. 地震及前兆数字观测技术规范（电场观测）. 北京：地震出版社，21，26，34—37.

Precursory Anomalies of Geo-Resistance before Moderate-Strong Earthquake Based on Observed Data at Zhouzhi Seismic Station

Peng Yuzhu, Zhang Shimin and Li Jianzhang

(Zhouzhi Seismic Station, Earthquake Administration of Shaanxi Province, Zhouzhi 710402, China)

Abstract Observed geo-resistance data at Zhouzhi seismic station were processed. We analyzed the data related to three strong earthquakes including Wenchuan $M_S8.0$ earthquake and summarized the character of precursory anomalies before moderate-strong earthquake. The results show it will appear precursory anomalies before moderate-strong earthquake in adjacent area, and the outcome will provide important basis for earthquake research and prediction, and provide preference for forecasting earthquake activity around Zhouzhi station.

Key words: Geo-resistance; Anomaly character; Observed condition; Earthquake