

李飞, 秦磊, 杨冯威. 新沂台地电阻率新旧场地对比观测分析[J]. 华南地震, 2015, 35(3): 7-14. [LI Fei, QIN Lei, YANG Fengwei. Comparison Observation Analysis of Earth Resistivity in New and Old Site of Xinyi Station[J]. South china journal of seismology, 2015, 35(3): 7-14.]

新沂台地电阻率新旧场地对比观测分析

李飞, 秦磊, 杨冯威

(江苏省新沂地震台, 江苏 新沂 221400)

摘要: 通过对新沂台新旧场地地电阻率的观测精度、曲线形态对比分析与研究, 结果表明: 新场地三个测向的地电阻率观测精度都优于旧场地; 新旧场地变化形态 EW 向变化基本相同, 其他两个测向差异性较大; 其影响因素主要是蔬菜大棚在耕种期间抽水灌溉, 工业游散电流的影响。此外由于新旧场地距离蔬菜大棚远近不一, 加之新场地的电极埋设较深, 是造成观测资料的差异性另一主要原因。最后对观测资料进行相关的异常分析, 以期得到资料的异常信息。

关键词: 地电阻率; 新沂台; 观测精度

中图分类号: P319.24 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2015) 03-0007-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2015.03.002

Comparison Observation Analysis of Earth Resistivity in New and Old Site of Xinyi Station

LI Fei, QIN Lei, YANG Fengwei

(Xinyi Seismic Station, Earthquake Administration of Jiangsu Province, Xinyi 221400, China)

Abstract: The paper comparatively analyzes and studies the observation accuracy, curve shape of earth resistivity in new and old site of Xinyi station. The results show that: the observation accuracy of earth resistivity in the new site in three direction are better than that of the old site; the changing shape in EW direction is basically the same, while the changing shape in other directions has lager difference. The mainly factors are pumping for irrigation of vegetable greenhouses during farming and industrial stray current. Meanwhile, varying distance to vegetable greenhouses, and electrodes buried deeper in new site result the difference of observation data. Finally, the paper does the anomaly analysis on the observational data to get the anomaly information.

Keywords: Earth resistivity; Xinyi; Observation accuracy

收稿日期: 2014-08-19

基金项目: 中国地震局监测、预报、科研三结合课题(140014)

作者简介: 李飞 (1970-), 男, 高级工程师, 现主要从事监测预报工作。

E-mail: xydztd@vip.sina.com.

0 前言

地电阻率观测是我国地震监测的主要方法之一,在地震监测预报中发挥着重要作用。自60年代以来,我国陆续建成100多个台站进行观测,随着我国的经济的发展,特别是近年来随着城镇化建设、工农业和交通运输电气化发展和生命线工程建设,地表大极距的地电阻率观测环境干扰日趋严重,到目前仅有60多个台站能够较正常工作。自90年代以来,我国地电学科工作者已做了大量的有益工作^[1]。近年来,实施了井下地电观测实验,供电、测量电极被深埋在地下钻孔中的一定深度以抑制地表干扰的影响^[2]。目前海安、天水、大柏舍、和平等台站进行了深埋、井下地电阻率观测,有关专家对相关资料进行有益的分析^[3-6]:深井观测不仅能够提高观测精度,也是一种行之有效的能避开或减小地表干扰的一种途径,同时观测资料在一些地震前能记录到明显的地震异常。

新沂台自1980年正式观测以来,观测资料多次出现前兆异常^[7]。“九五”以来新沂台对地电系统进行了数次改造,同时针对如何提高观测资料质量进行了相关的研究工作^[8]并进行相关改进,提高了资料的观测精度和可靠性。自2007年10月以来,新沂台NS向、N45°E向地电阻率出现非正常变化,特别到2008年3月份,NS向快速下降,为此进行相关检查与分析研究^[9]:认定场地内的蔬菜大棚是造成这一变化的影响因素。为此对蔬菜大棚中钢丝和钢管进行对地绝缘,使观测数据基本恢复正常。2012年新沂台实施地电阻率的背景场项目,为了尽可能避开蔬菜大棚,在近乎同场地新建一观测系统进行并行观测。2013年1月1日新沂台背景场电阻率开始并行试记工作,为此对新旧场地的地电阻率资料从观测精度、资料形态等进行对比分析,提取不同场地的地电阻率观测精度及变化形态的差异性;进而对差异性进行分析,找出产生差异的原因,并对观测资料是否存在异常进行相关分析。

1 新沂台场地基本情况

新沂地震台位于郯庐断裂带上,其东侧500 m处为F₁断裂(由于比例尺的问题,无法列于图中。),其F₅断裂和小f₅断裂从地电阻率观测场地中穿过。根据地质调查报告显示,测区内的断层为逆掩-逆冲断层,兼有右旋水平位移,断面向深部具有收敛的现象;其走向为近NS向,断层面倾

角陡。岩性为安山岩。台站所处位置地形较平坦开阔,东高西低,高差约4 m多,略呈凹兜状。在旧场地NS向以东,岩石出露较浅,仅2~6 m;在旧场地NS向以西,岩石出露陡然开始变深,从6 m逐步过渡到80 m。

新旧地电阻率观测都采用四极对称系统,共有三个测向:NS向(A₁B₁)、N45°E向(A₂B₂)、EW向(A₃B₃);其中供电电极距为1 000 m(新场地的N45°E的供电电极距为1 020 m),测量极距为240 m,其中:新场地NS向为旧场地向东平移60 m,新场地N45°E为旧测线沿N45°E方向平移380 m,EW测向位于原处。此外新场地各电极埋深与旧场地不同:旧场地各电极埋深为2.5 m,新场地个电极埋深各不相同,平均约6 m左右,最浅的为B₃电极约3.5 m,最深为A₃电极约16.5 m,总体是越往场地西侧,电极越深。

蔬菜大棚建设时间:2007年9至11月,大棚近东西走向,长100 m,宽12 m左右,大棚内无金属地下管道,每个大棚EW方向用53根左右钢丝作为拉丝,基本上每根钢丝与地单独连接。NS向用25根钢管作为龙骨,用水泥棒支撑与EW向的钢丝接触相连。蔬菜大棚最近点距离M₂约15 m左右,到EW向100 m左右,蔬菜大棚最近点到NS向约95 m左右,南端的蔬菜大棚东侧到NS测线160 m左右。测线和蔬菜大棚的具体分布情况见图1。

2 新场地布极方式、电极埋深的确立

根据文献9的研究可以知道,蔬菜大棚影响的是NS与N45°E测向,对于EW测向无影响,因此EW向仍位于原处;原场地A₁M₁线路东侧150 m即为村民院落,新场地B₂外侧150 m也为村民院落、NE方向约500 m为带护栏的国道(规范^[10]要求离开500 m以上),北1 km为电气化铁路(规范^[10]要求离开1 km以上)受此场地限制,所选位置十分有限。根据陈智群等^[9]研究:电极只要埋入地下一定深度后,就能压抑地表的干扰影响。根据新沂台建台电测深曲线可知场地的电性结构为AH型,25 m以内为A型,共分6层:表层电阻率约10 Ω·m;1~25 m共5层,电阻率由22 Ω·m逐步增大到60 Ω·m左右。根据解韬等^[10]的研究:在地表、第二层中供电和测量,地表干扰电流位置离装置中心点超过一定距离后,ε值(注:ε值表示干扰电流产生的电势差对供电电流产生的电势差的影响)很小,特别在ρ₂>ρ₁的断面中供电和测量,干扰源

超过一定距离后 $\varepsilon \rightarrow 0$; 干扰源位置接近装置中心点时, $\varepsilon \rightarrow 0$, 而干扰源位置接近测量电极 M、N 时, ε 很大。根据此研究结果, 新沂台电极如果埋深合适, 离开干扰源一定距离, 即可避免干扰。为此, 新线路 NS 测向东移 60 m, A2 电极移到蔬菜大棚外侧, 从而远离干扰源, 尽可能避开蔬菜大棚、公路、铁路、院落的影响, 同时为了尽可能与原场地观测资料能够进行对比分析, 因此新场地的布极如图 1 所示。由于各电极附近的岩石埋深各不相同, 同时受到场地因素的制约和施工条件、经费的限制, 对于电极埋深的问题, 所有电极埋深都超过老场地, 结合对相关专家的咨询及场地的地质因素, 场地东侧(M3 以东)的各电极埋深到达岩石层, 西侧电极加深, 超过 16 m。

3 精度对比

从地电阻率的评比标准中可知, 资料的好坏与观测精度 f 有很大关系, 而 f 由公式(1)计算而来:

$$f=1-\left(\frac{k_{\sigma 1}}{12}+\frac{2K_{\sigma 2}}{5}\right) \quad (1)$$

其中

$$k_{\sigma 1}=\frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^{12}\left(\overline{\sigma_n}\right)_{月 j i} / \left(\overline{\rho_s}\right)_{月 j i} \quad (2)$$

$$k_{\sigma 2}=\frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 \sum_{i=x}^{x+4}\left(\overline{\sigma_{n-1}}\right)_{月 j i} / \left(\overline{\rho_s}\right)_{月 j i} \quad (3)$$

式中 $(\overline{\sigma_n})_{月 j i}$ 为第 j 道第 i 月的 σ_n 的月均值, $(\overline{\sigma_{n-1}})_{月 j i}$ 为第 j 道第 i 月由 $(\sigma_{n-1})_{日}$ 算出的月均值。

由此可见, σ_{n-1} 和 σ_n 的大小是评判电阻率观测资料内在质量优劣的标准。根据新沂台新旧场地的观测资料, 计算出新场地地电阻率 NS、N45°E、EW 三个测向的 f 值分别是: 0.998 8、0.998 9、0.999 1; 旧场地电阻率 NS、N45°E、EW 三个测向的 f 值分别是: 0.997 3、0.997 8、0.999。由此可以看出新旧场地 EW 向的观测精度基本相当外, 其他两个测向, 新场地的观测精度要高于旧场地的观测精度。

为了验证观测资料的变化存在蔬菜大棚的影响, 对新旧场地地电阻率日值均方差曲线进行对比分析。根据调查, 每年的 10 月至次年的 6 月为蔬菜大棚的种植时间, 村民种植蔬菜需要进行抽水灌溉。从图 2 可以看出, 对于旧场地的 NS 向与 N45°E 向, 2013 年 2、4、5、6 月份的均方差一直很大, 均值基本在 0.26~0.30 左右, 较正常时期的 0.06 左右增大了 4~5 倍; 这是 2013 年 2~6 月, 本地区降雨量不足常年的一半, 蔬菜大棚用水过多造成的。在蔬菜大棚停种的 7~9 月, 均方差维持在较低水平。10~12 月均值基本维持在 0.15, 也较正常时期偏大。进入到 2014 年除去 2014 年 1 月下旬到 2 月中旬蔬菜大棚停种期间, 其余时间基本维持在 0.15 左右, 这也是 2014 年本地区降雨量恢

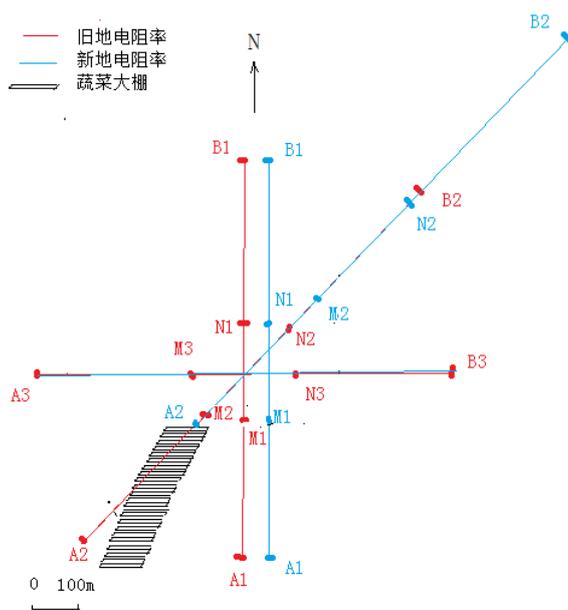


图 1 新沂台地电阻率布极及蔬菜大棚示意图

Fig.1 The schematic diagram of arrangement of electrodes of earth resistivity and vegetable greenhouses in Xinyi station

复正常的缘故。对于旧场地 EW 向，由于蔬菜大棚基本垂直于测线方向，蔬菜大棚的耕种对此测向基本没有影响。而对于新场地，三个测向的均方差明显偏小，完全没有旧场地的变化形态，只不过在雨季存在数天的增大变化，这主要是雷雨的影响，排除此影响，基本维持在 0.06 左右，说明蔬菜大棚对新场地基本没有影响。

为了更清晰的验证观测资料的变化存在蔬菜大棚的影响，特选取 2013 年 5 月 1~20 日各测向

小时值均方差曲线进行相关分析(图 3)。对于旧场地 NS 向与 N45°E 向，除去 15~17 日，地电阻率小时值的均方差基本上呈现出较为明显的方波变化；每天的 07 时左右开始增大，18 时左右开始下降；这种变化恰好与蔬菜大棚每天的耕种时间相吻合。根据调查，由于用电设备线路、低压线路等绝缘度不是很高，造成一定区域的工业游散电流；加上抽水灌溉，使得地表形成一定面积的低阻区域，这几种因素的综合，造成地电阻率的均方差明显

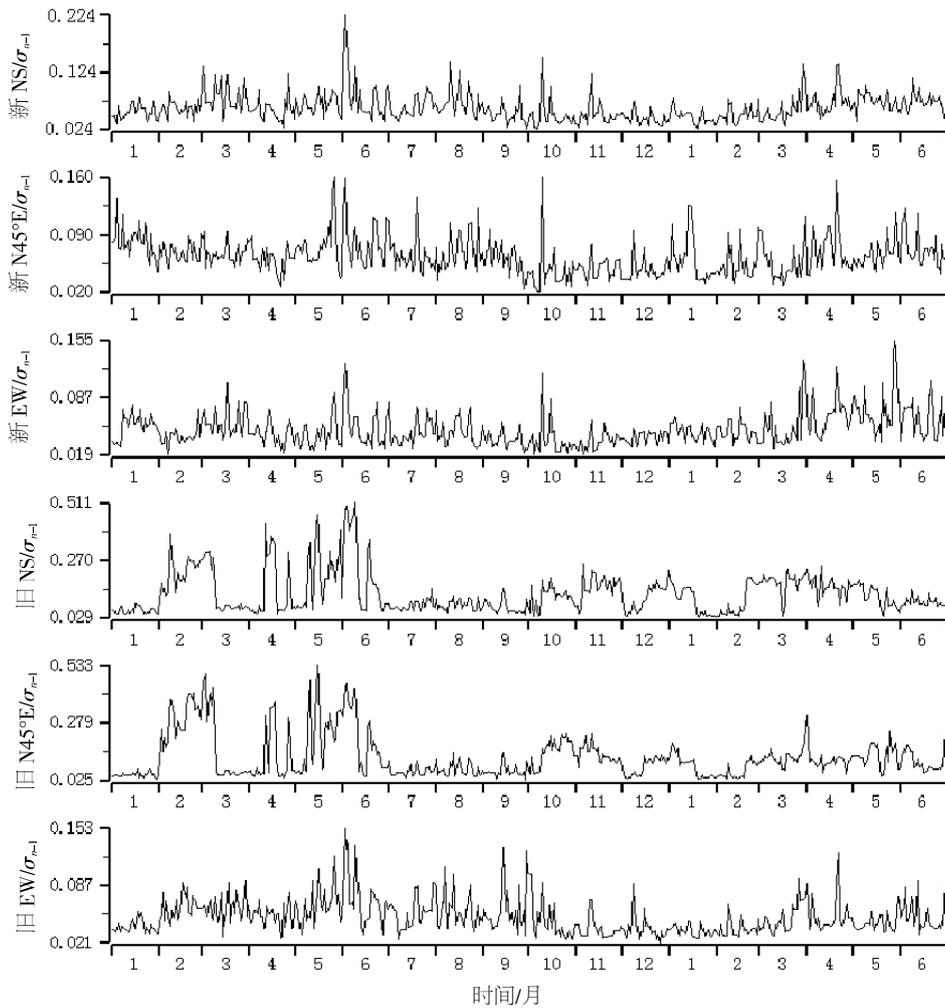


图 2 2013 年 1 月至 2014 年 6 月新沂台新旧场地地电阻率均方差日均值曲线

Fig.2 The mean square deviation curve of daily mean value of earth resistivity in new and old site of Xinyi station from January, 2013 to June, 2014.

上升；当天耕种停工，各类设备停用，地电阻率小时值的均方差恢复正常。5 月 15~17 日地电阻率小时值的均方差总体明显偏小，其原因是在此期间出现一次明显的降雨过程，各类设备停用。对于旧场地的 EW 向，虽然均方差基本维持在 0.06 左右，但也可以看出多天的白天耕种时间，均方差还是存在略微偏大的现象，并且出现的此变化

的时段都是白天，说明蔬菜大棚的耕种，对该测向基本无影响，但从细节是还是有些反映。

新场地各测向小时值的均方差基本维持在 0.05~0.06 之间，特别是 NS、N45°E 向均方差看不出存在方波变化，并且只有旧场地同测向的 $1/4 \sim 1/3$ ；但也存在白天的均方差略微大于夜晚的均方差的情况。EW 向均方差的变化形态与旧场地 EW 向的

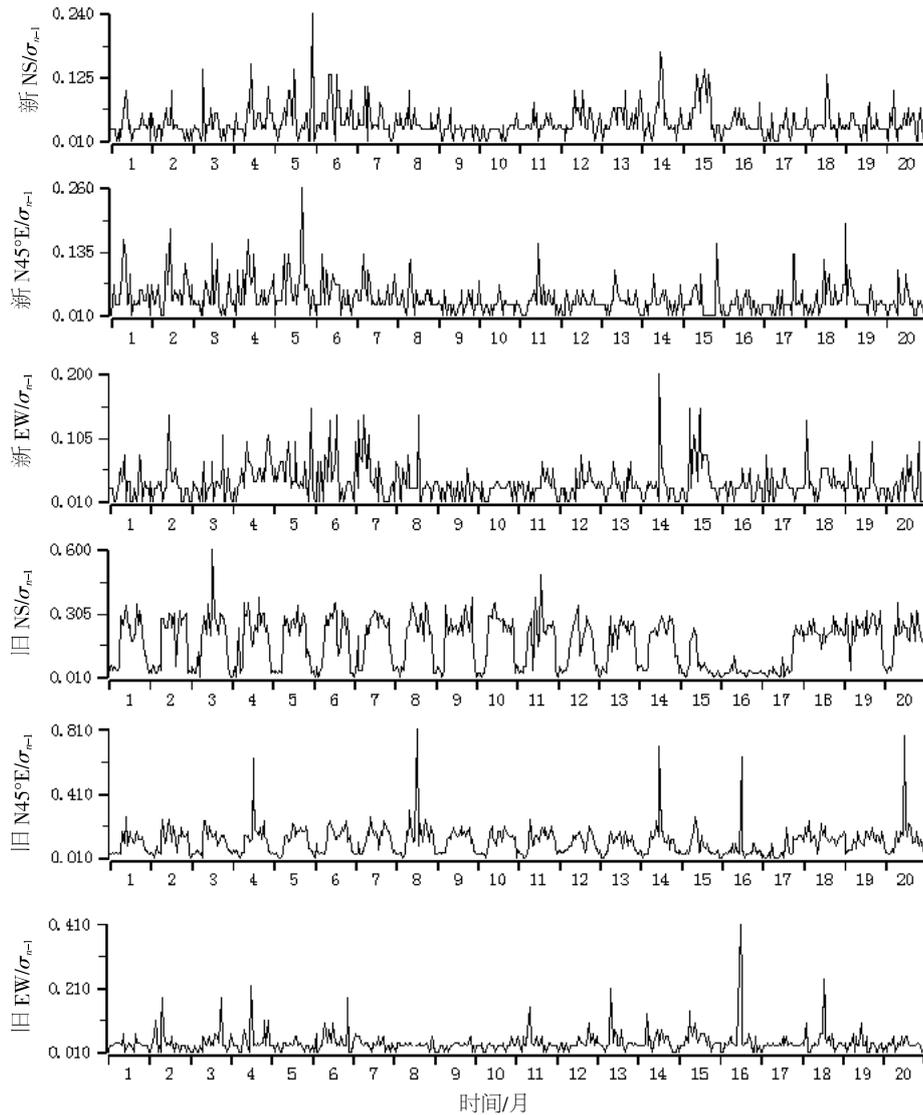


图3 新沂台新旧场地 5月1至20日地电阻率小时值均方差曲线

Fig.3 The mean square deviation curve of hour value of earth resistivity in new and old site of Xinyi station from May 1 to 20

变化形态基本相似,只不过突跳极少,且观测值略微偏小。通过图1可以知道,由于新场地NS向较旧场地NS向远离蔬菜大棚60m,新场地N45°E向跳离蔬菜大棚;并且各电极埋设都较旧场地要深,蔬菜大棚的耕种对新场地的影响可以忽略不计。

4 数据变化形态对比

图4为2013年1月至2014年6月新旧场地的地电阻率小时值曲线,从图可以看出旧场地的地电阻率曲线的高频成分明显多于新场地,并且旧场地多日存在突跳现象。

从变化趋势对比来看,对于EW向,由于基本不受蔬菜大棚的影响,新旧场地的观测资料年变化幅度与变化趋势基本相同,只不过由于新场

地的电极埋设更深,其高频变化明显低于旧场地。对于NS向,新旧场地的观测资料年变化幅度与变化趋势基本相同,但变化形态细节不尽相同:1、新场地NS向5月27日至7月4日存在似台阶的明显高值变化,旧场地数据不如其不明显。2、7~9月份新场地变化幅度略大于同期旧场地的变化幅度。分析认为:由于7~9月为雨季,根据统计3个月降雨总量约400mm,蔬菜大棚对于NS向的影响为“分流”影响,而在雨季,由于地表土层含水基本饱和,形成广泛区域的低阻区域,原来的“分流影响”逐步消失,观测数据逐步靠近真值。同时从图1可知新场地NS向较旧场地NS向更远离蔬菜大棚,并且电极埋深更深,从而造成两者之间的差异性。

对于N45°E向,由于新场地跳离蔬菜大棚,

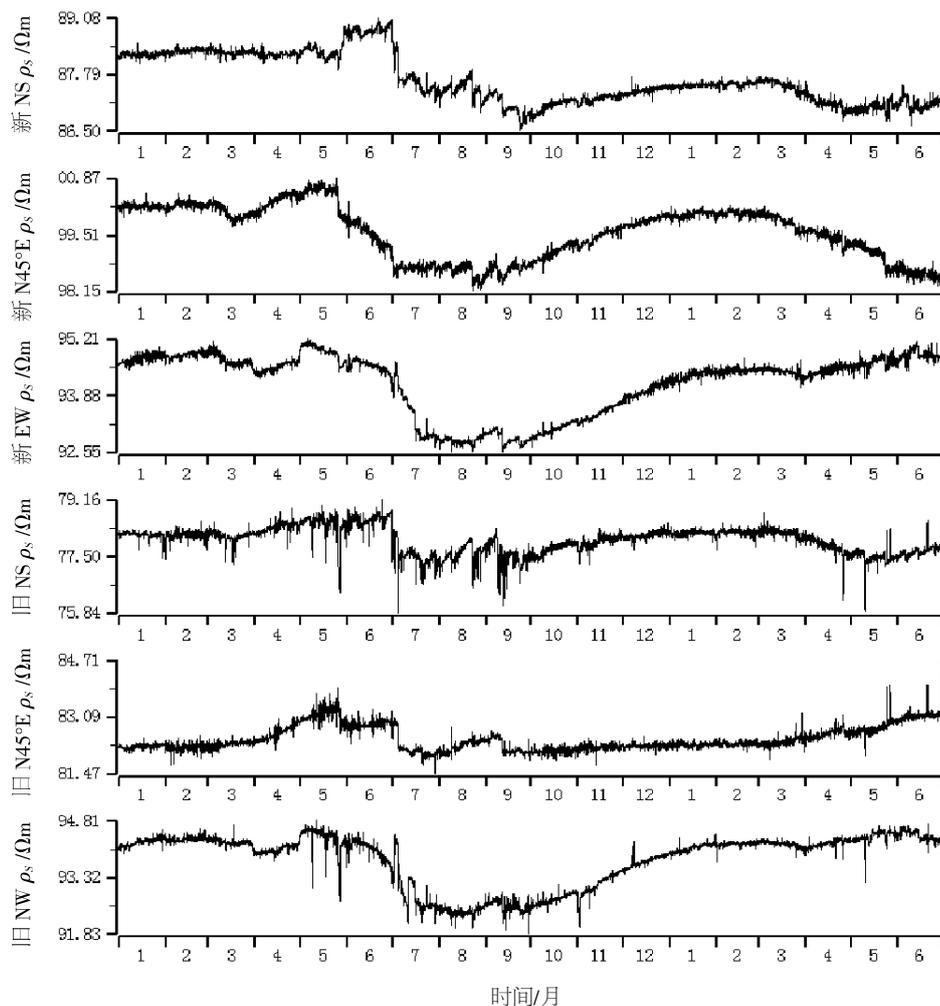


图4 2013年1月至2014年6月新沂台新旧场地地电阻率小时值曲线

Fig.4 The hour value curves of earth resistivity in new and old site of Xinyi station from January, 2013 to June, 2014.

且测量极亦是完全不在同场地，造成观测数据的差异性较大。从变化形态与趋势来看，两条曲线仅2013年6~9月份变化形态和趋势相同，而此段时间恰恰是蔬菜大棚停种时间。新场地表现出较明显的冬高夏低的年变趋势，而旧场地完全没有此变化形态；两者的变化形态与趋势似完全不同（排除2013年6~9月份的变化形态），从年变趋势来看，新场地N45°E向更与EW向相似。根据沈红会等^[11]对新沂台资料的分析，新沂台EW向较其它两个测向在江苏及其邻近地区发生中强震前的映震能力最好。其本质的问题是不同方向探测的电性结构不相同，导致探测深度不同所致。很明显NS向和N45°E向受表层的影响更大，EW向的探测深度要更理想一些。而根据李飞等^[12]研究：N45°E向地电阻率与地下水位和降水存在明显的相关性。从而说明旧场地N45°E测向受到表层干扰更容易。旧场地在2013年4~5月份降雨量很少的

时段，由于蔬菜大棚的耕种的影响，形成一定区域的相对低阻区，致使其“回流”作用放大，资料存在较明显的上升，随着雨季到来及蔬菜大棚停止耕种，其影响逐步减弱。

对于资料存在年变问题：根据沈红会等^[11]对新沂台资料的分析：较深的探测深度具有更明显年变化量，它受干扰更小，更具前兆意义。在实际的观测中，年变的表现也是不一样的。不能简单认为年变是表层电阻率引起的变化，不同的电性结构引起的年变变化是不一样的。很多杂乱的年变往往是与最表层的电阻率的变化有关，规则的年变往往影响深的多。同时根据李飞等^[13-14]对新沂台地电阻率及同场地短水准对比分析：对于同场地观测的短水准和地电阻率，观测资料呈现一定的相关性。不仅在形态上相关，而且在年变幅变化上也是准同步、准幅度变化的。对于周围400~500 km左右的中强震，在震前，两观测手段都有

不同程度的反应,这与场地的地质构造十分发育,且岩石出露较浅,观测系统对应力变化过程反映较为灵敏。这说明地电阻率观测资料出现年变,不仅与电极埋深存在一定关系,而且与该地区的地质构造存在较大关联。

5 相关异常分析

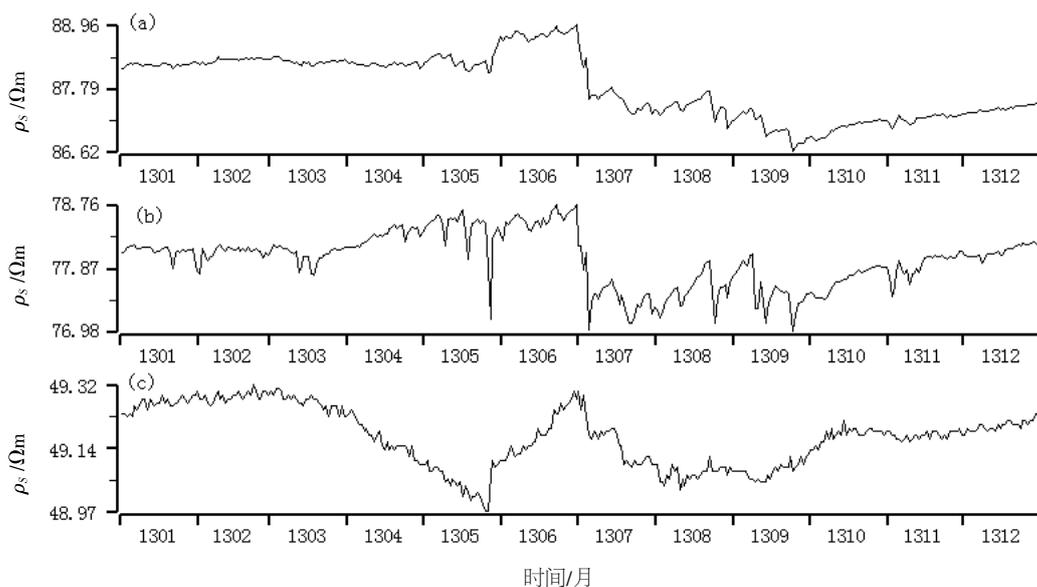
由于新沂台新场地运行时间较短,为验证 NS 向 5 月 27 日至 7 月 4 日的存在似台阶的明显高值变化是否真实可靠,同时为了较清晰体现背景性变化,采用距新沂台 40 km 左右、同处郯庐断裂带的山东马陵山台的地电阻率日值进行对比分析。从图 5 可以看出:由于 5 月 26 日两地都存在明显降雨,降雨量分别为 100 mm 左右,两台地电阻率观测数据存在一定的降雨影响,其中新沂台旧场地数据存在明显突跳。当降雨刚刚结束的 5 月 27 日,两台地电阻率观测数据日值突然上升,短短 2 d,新沂台新场地地电阻率上升约 0.7% 左右;旧场地更是较降雨当天上升 1.4% 左右,马陵山上升 0.4%。此后 1 个月左右时间,新沂台新旧场地的地电阻率日值一直维持在高值波动,而马陵山台持续上升,变化量约 0.4 $\Omega \cdot m$,变化幅度约 0.8%,此变化量与新沂台新场地的变化量大体相当。7 月 4 日之后,两台地电阻率开始同步下降,只不过变化幅度、变化形态存在一定的差异性。同时从图 5 可以看出,新沂台旧场地电阻率排除降雨造成的

突跳外,观测资料在 5 月 27 日前后变化量很小,基本未发生变化。新场地进行对比分析,发现自 3 月 19 日以来,观测数据持续上升,至 5 月中旬上升约 0.7% 左右,此变化量与新场地在 5 月 27 日至 7 月 4 日的变化量基本相当。通过对比,新场地自 3 月 19 日至 5 月中旬地电阻率一直较平稳,与旧场地变化不同;通过上文分析可以知道:由于旧场地较新场地离蔬菜大棚距离近 60 m,场地结构发生一定的变化,并且此时段又是耕种期。因此判断旧场地在此时段的上升变化可能与此存在关联。

在 5 月 27 日至 7 月 4 日之间,两台都组织人员对观测系统、线路、观测环境等进行认真检查,未发现任何干扰;由于两台资料同步出现变化,一直没有地震对应,根据以往对资料的认识,认定此变化为区域应力场发生调整造成的。同时通过对比分析,验证了新场地资料出现异常变化更为清晰。

6 结语

(1) 通过对新旧场地的地电阻率的均方差日均值、小时值均方差及观测数据形态进行对比分析,说明新场地的地电阻率观测精度要高于旧场地。通过新旧场地的地电阻率 σ_{n-1} 和 σ_n 月均值计算出的观测资料的精度也验证了此观点。加之新场地的电极相对埋设相对较深,也造成两个场地的地电阻率观测精度存在一定的差异性。



(a) 新场地;(b) 旧场地;(c) 马陵山台

图 5 2013 年新沂台新旧场地、马陵山台 NS 向地电阻率日值曲线

Fig.5 The daily value curves of earth resistivity in NS direction in new and old site of Xinyi station and Malingshan station in 2013

(2) 通过对比分析, 得出蔬菜大棚对新沂台新旧场地 EW 向基本无影响, 对旧场地 NS 向、N45°E 向的地电阻率存在一定的影响, 特别是对 N45°E 向, 在蔬菜大棚耕种期间, 影响到资料的年变化; 这跟蔬菜大棚耕种季节、每天耕种的作息时间、用水量多少有关; 具体的表现为在耕种期间, 由于用电设备线路、低压线路等绝缘度不是很高, 造成一定面积的工业游散电流; 加上抽水灌溉, 地表形成一定面积的低阻区域。由于新场地 NS 向、N45°E 向远离或跳离蔬菜大棚, 电极相对埋设较深, 蔬菜大棚对此两测向没有影响。

(3) 通过新沂台新旧场地 NS 向与马陵山 NS 向地电阻率进行对比分析, 虽然新沂台新场地地电阻率运行时间不长, 但能够记录到明显的区域应力调整; 与马陵山地电阻率的变化形态不尽相同, 这与两台的地下介质差异存在关联。由于新场地的干扰较小、观测精度较旧场地也高, 资料反映的资料形态更清晰。

参考文献:

- [1] 刘昌谋, 桂燮泰, 柴剑勇, 等. 河源地电台全空间地电阻率试验[J]. 华南地震, 1994, 14 (3): 40-45.
- [2] 聂永安, 巴振宁, 聂瑶. 深埋电极的地电阻率观测研究[J]. 地震学报, 2010, 32 (1): 33-40.
- [3] 杨兴悦, 杨立明, 康云生, 等. 天水地震台井下地电观测系统介绍及其分析[J]. 地震研究, 2012, 35 (1): 92-97.
- [4] 乔予云, 白云刚, 关华平, 等. 河北柏合台深井与浅层地电阻率观测对比分析[J]. 国际地震动态, 2012, 32 (6): 292.
- [5] 陈智群, 柴剑勇, 黄晖, 等. 新丰江水库区和平地电站电阻率深孔多电极抗干扰观测实验[J]. 华南地震, 2012, 32 (增刊): 119-127.
- [6] 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.
- [7] 李飞, 杨冯威. 新沂地震台地电阻率变化与江苏邻近地区的中强震关系的研究[J]. 地震地磁观测与研究, 2008, 29 (6): 106-109.
- [8] 李飞, 彭润禾, 夏忠. 影响新沂台地电阻率观测资料内在质量的研究/[C]纪念南京基准地震台建台 70 周年论文集. 北京: 地震出版社, 2002: 149-153.
- [9] 张秀霞, 李飞, 杨冯威, 等. 蔬菜大棚对新沂地震台地电阻率的影响[J]. 地震地磁观测与研究, 2009, 30 (增刊): 32-36.
- [10] 中国地震局科技监测司. 地震及前兆数字观测技术规范 (电场观测)[M]. 北京: 地震出版社, 2001.
- [11] 沈红会, 孙春仙, 叶碧文. 新沂台地电阻率观测实例的探讨及意义[J]. 华南地震, 2010, 30 (4): 41-47.
- [12] 李飞, 姚伟中. 新沂地震台地电阻率与地下水位和降水的关系研究[J]. 地震研究, 2004, 27 (4): 326-329.
- [13] 李飞, 纪加迎, 杨冯威. 中强震前新沂台地电阻率和短水准异常及其相关性的研究[J]. 华南地震, 2008, 28 (3): 111-117.
- [14] 陈智群, 柴剑勇, 李敬, 等. 和平台深孔电极地电阻率测值趋势下降原因分析[J]. 华南地震, 2014, 34 (1): 117-121.