

孟凯. 利用水动态深井进行井下地电场观测的可行性分析[J]. 华南地震, 2017, 37(3): 103–109. [MENG Kai. A Feasibility Study on Geoelectric Field Observation by Using Water Dynamic Deep Well Stations[J]. South China journal of seismology, 2017, 37(3): 103–109.]

## 利用水动态深井进行井下地电场观测 的可行性分析

孟 凯

(临沂市地震局, 山东 临沂 276000)

**摘要:** 自然电场是一种物理意义比较明确, 变化机理相对明晰的地球物理场, 其布极测量也较为简便。通过深井进行井下自然电位观测, 在相同测量条件下, 比深井电阻率观测更容易避开地表因素干扰层。利用水动态深井网点进行自然电位观测, 不需要增加大的人力和财力投入, 不影响同一口井内的高精度水温测量, 如果将物理意义不同的水位、水温和自然电位同用一井, 形成综合观测网, 对地震预报尤其是短临跟踪预报更具有积极意义。

**关键词:** 深井布极; 自然电场; 电阻率; 地表干扰层; 地电异常; 苍山  $M_s$  5.2 地震

**中图分类号:** P315.7      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-8662 (2017) 03-0103-07

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2017.03.015

## A Feasibility Study on Geoelectric Field Observation by Using Water Dynamic Deep Well Stations

MENG Kai

(Linyi Earthquake Agency, linyi 276000, China)

**Abstract:** Natural electric field is a geophysical field which has definite physical meaning and relatively clear change mechanisms. Its electrode layout measurement is also comparatively simple. Compared with deep well resistivity observation, the use of deep wells to observe natural potential is easier to avoid surface disturbance layer under the same measurement condition. Apart from that, it doesn't need massive investment of manpower and financial resource and it doesn't affect high-accuracy water temperature measurement in a deep well. If water level, water temperature and natural potential with different physical meanings are measured in the same well forming an integrated observation network, which will have a positive influence on earthquake prediction, especially short-term and impending earthquakes.

**Keywords:** Deep well electrode layout; Natural electric field; Resistivity; Surface disturbance layer; Geoelectric anomaly; Cangshan  $M_s$  5.2 earthquake

**收稿日期:** 2016-11-10

**基金项目:** 山东省地震局合同制项目 (14Y41)

**作者简介:** 孟 凯(1983-), 男, 助理工程师, 主要从事地震监测预报工作。

**E-mail:** 33909652@163.com.

## 0 引言

地电观测,尤其是自然电位观测,因其测量方法技术简便,在 60 年代到 70 年代曾作为除地下水观测之外的重要地震前兆观测手段,广泛应用于群测群防工作中。专业地电台站也是采用地表布极的方法进行地电阻率及自然电位测量。但实践证明,地表埋设电极的观测结果受地表多种干扰因素影响,难以识别震兆信息。

为解决地表干扰因素影响问题,1979 年临沂地电台率先开展了避开地表干扰的水平向井底布极的地电观测实验,实验表明观测资料的年变干扰消失<sup>[1]</sup>,且对 300 km 范围内发生的  $M_s>5.0$  地震和 100 km 范围内发生的  $M_L>4.0$  地震均有明显的异常反映<sup>[2-3]</sup>。由于城市化进程的加快等诸多原因,该项观测最终于 1999 年停止。

自 1989 年起,临沂地震部门在沂南、费县、郯城、苍山等县,利用水文地质部门的观测用井进行交流供电方法的地电阻率观测,并纳入监测网点管理。对这些测点观测资料的整理分析发现,该方法尽管仪器简易,测出的物理量值得商榷,但在 1995 年 9 月 20 日该区苍山 5.2 级地震发生前,各测点观测资料均有明显的异常反映,说明利用单口深井垂向布极的地电观测方法是可行的。后来,由于管理不善、观测环境改变、仪器损坏、对该观测方法存疑、以及数字化高精度水位水温仪安装运行后,测量电阻率的人工供电对高精度水温测量产生影响等诸多原因,除费县测点外,其它测点相继停测。

目前在山东省地震重点防御区,已基本实现了每县至少有一个深井测点(高精度水位、水温观测仪),形成水动态深井观测网。因此,可以利用水动态深井观测网点,进行深井自然电位观测,形成深井水位、水温和自然电位同时观测的地震前兆观测网。

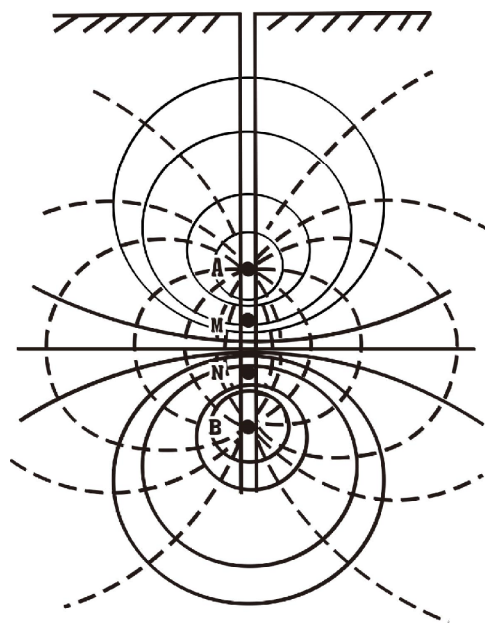
## 1 深井地电场观测的基本原理与方法

在矿产资源勘探水文地质勘测等领域,利用钻井进行电法测井,是以地——井方式布极,固定地表电极,移动井内电极,测量自然电位随井深的变化,或者通过人工供电测量地层电阻率随井深的变化,借以划分岩、矿层及其厚度,判断含水位置 and 含水性以及解决其他各种地质问题。

将物探电法测井移植到地震监测中,是通过

单井井内固定电极,避开地表因素干扰层,测量干扰层之下的自然电位或地电阻率随时间的变化,获取与地震孕育→发生过程相关的信息。

电阻率测量是测量在人工电场影响范围内介质有限体积内的电阻率随时间的变化。单井垂向布极及人工电场电流密度分布由图 1 所示,当人工电场影响范围涵盖地表低阻年变干扰层时,其所测电阻率结果就会受到地表年变干扰因素的影响,只有选择避开地表因素干扰层影响的合理的布极,将人工电场影响范围控制在地表因素干扰层之下,才能避开地表干扰层影响。



—等电位线; ---电流线。供电电极 AB; 测量电极 MN。

图 1 单井垂向布极人工电场示意图

Fig.1 Diagram of artificial electric field of vertical electrode layout in a single well

自然电场是一种物理意义比较明确、变化机理相对明晰的地球物理场。自然电场是在一定的物化条件下自行产生的地下电场。自然电场的产生与地下水的运动有关,由于水具有易流动性、不可压缩性,在微弱应力作用下,地下水就要发生迁移,地下水的定向迁移,地表水的渗透,均可形成离子导体的自然电流。在地震孕育、岩体受力变形及破裂的过程中,含水围岩的应力——应变变化会造成地下水的运动和地下水物理性质和化学成分产生变化,就能形成自然电场和自然电流的变化。因此,可通过深井进行避开地表水的渗透、地表温度等因素(地表干扰因素产生的自然电场)影响之下的井内布极,来实现在地震孕育→发生过程中因地下水的运动而引起地下自

然电场(自然电位)变化的观测。

深井自然电位观测因不需要布设供电电极进行人工供电, 更容易实施避开地表干扰层影响的井下布极, 且不影响同一井内的高精度水温观测。

## 2 深井地电观测结果及对地震的异常反映

临沂地电台是山东最早的地电观测台。为解决地表埋设电极测量地电阻率方法的年变干扰问题, 1979 年开始进行了井深 30 m、等间距(7 m)的水平向井底布极的电阻率观测试验, 为避免因人工供电对自然电位测量的影响, 在供电测量电阻率之前, 先对自然电位进行观测。

图 2、3 给出了临沂台深井地电自开始观测到停止观测期间自然电位和电阻率变化曲线, 以及距 100 km 范围内发生的  $M_L > 4.0$  级地震和 300 km 范围内的  $M_S > 5.0$  级地震, 从图 2、3 可看出, 在这些地震发生前电阻率和自然电位均有异常反映。由于

震级大小不同、与该台距离、构造背景的不同以及震源力学性质的不同, 因而对地震的异常反映就会有所不同, 甚至有很大差别。因自然电位与电阻率的物理意义不同、形成机理不同, 对震源力学过程的响应程度也不可能完全一致, 自然电位与电阻率的异常形态也就不会完全一致或相同。莒南  $M_L$  4.1 级、 $M_L$  4.4 级和苍山  $M_L$  4.4 级地震, 电阻率反映出形态特征相似的趋势异常; 距震中 76 km 的枣庄  $M_L$  4.3 级地震, 电阻率反映出短临异常。自然电位在枣庄  $M_L$  4.3 级、新泰  $M_L$  4.1 级、莒南  $M_L$  4.1 级和  $M_L$  4.4 级地震前反映出基本相似的上升-回降-又趋平稳的变化形态。对于距震中较近的苍山  $M_L$  4.3 级地震, 在电阻率由趋势下降转折上升的同时, 自然电位出现了下降-回升-又下降的波动变化。对于菏泽  $M_S$  5.9 级地震和射阳  $M_S$  5.1 级地震, 菏泽地震属走滑型地震<sup>[4]</sup>, 自然电位和电阻率在震前 26 天同步出现了急剧下降又急剧回升的变化; 射阳地震属错断型地震<sup>[5]</sup>, 震前 2 个月电阻率出现下降变化; 震前 2 天自然电位出现急剧下降变化。

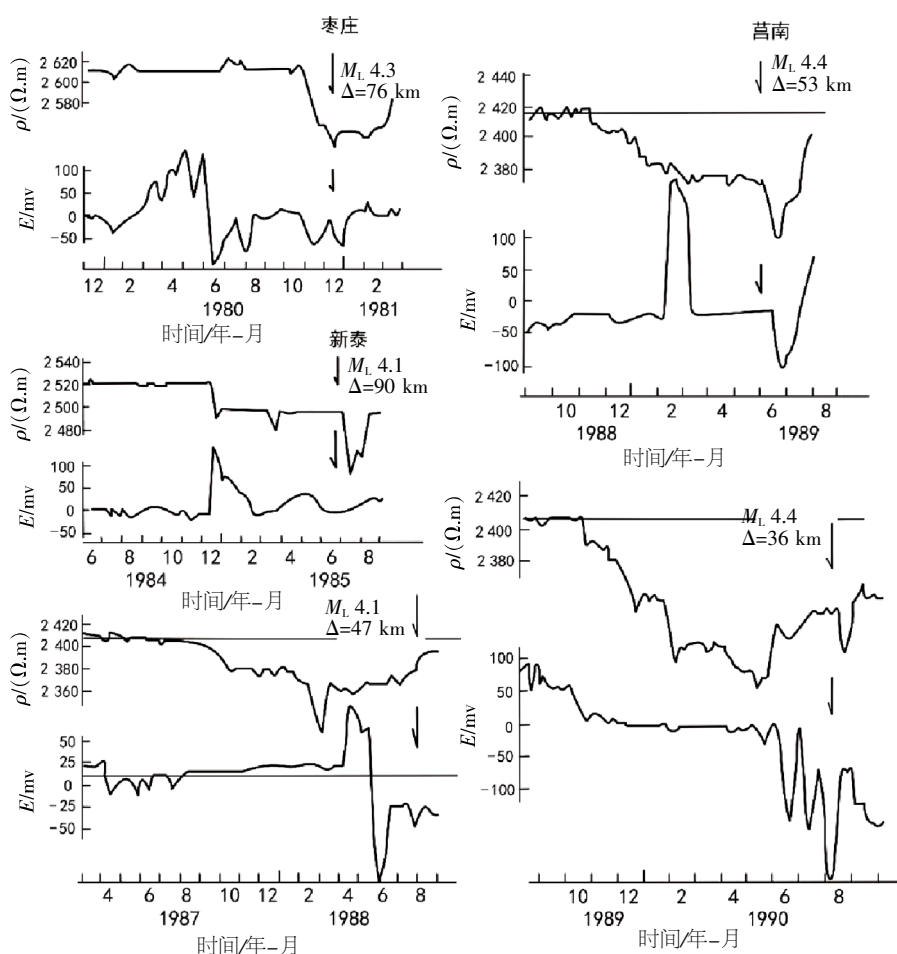


图 2 100 km 范围内  $M_L > 4.0$  地震前临沂台深井电阻率和自然电位五日均值曲线

Fig.2 Five-day mean value curve of resistivity and geoelectric potential of deep well in Linyi station within 100 km before  $M_L > 4.0$  earthquake

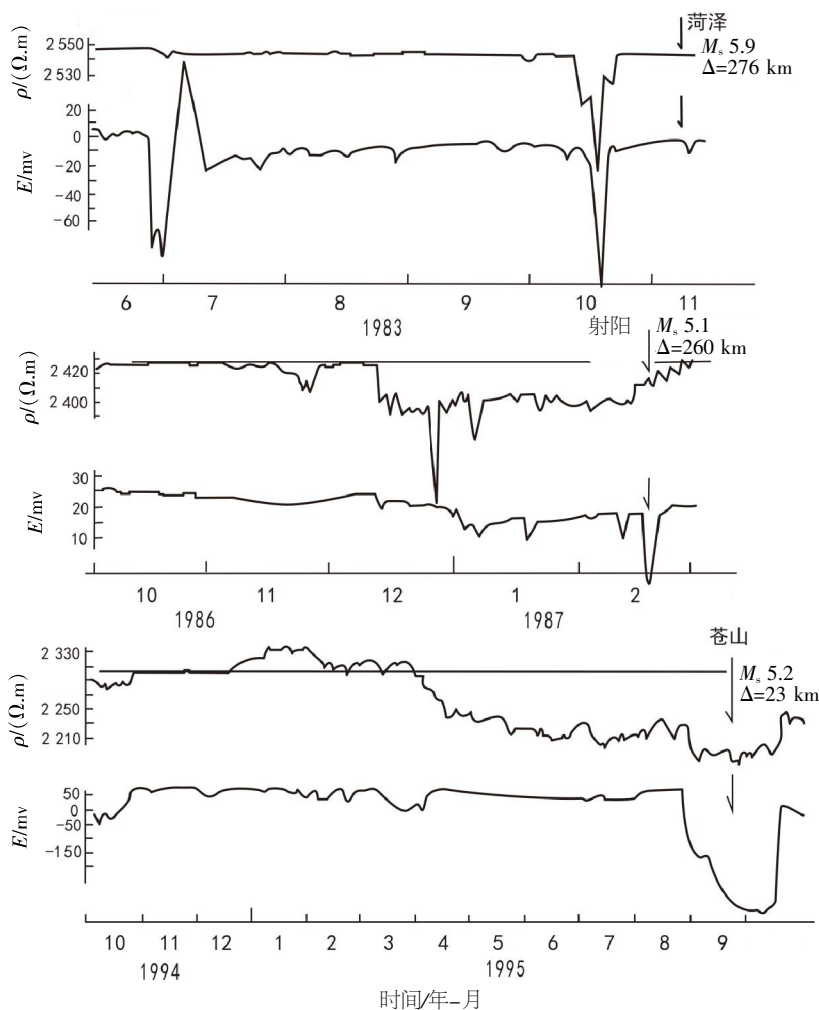


图 3 300 km 范围内  $M_s > 5.0$  地震前临沂台深井电阻率和自然电位日均值曲线<sup>[2]</sup>。

Fig.3 Daily mean value curve of resistivity and geoelectric potential of deep well in Linyi station within 300 km before  $M_s > 5.0$  earthquake

由临沂台深井电阻率和自然电位月均值曲线(图 4)可见,1988 年莒南  $M_L$  4.1 级地震发生前,虽然在 1979—1987 年期间,临沂台周边先后发生了 1980 年 12 月枣庄  $M_L$  4.3 级、1983 年 11 月菏泽  $M_s$  5.9 级、1985 年 6 月 25 日新泰  $M_L$  4.1 级、1987 年 2 月江苏射阳  $M_s$  5.1 级地震,且这些地震发生前电阻率和自然电位均有异常变化,但电阻率曲线一直呈趋势下降变化,自然电位则基本呈平稳变化。莒南  $M_L$  4.1 级地震发生后,电阻率曲线由震前的长期下降转为上升再下降,之后呈平缓的趋势变化。在此背景上,1994 年 7 月再次出现下降,达极小值后又随即上升,之后又再度下降,1995 年 9 月 20 日苍山 5.2 级地震发生在低值处。与此同时,自然电位测值也从 1988 年开始,在长期平稳变化的背景上呈现出逐步明显的波动起伏变化,一直持续到 1994 年 8 月后变化基本平稳。

苍山 5.2 级地震前 24 天,自然电位和电阻率同时出现了急剧下降,震后又同时急剧回升的短临异常<sup>[2]</sup>(图 3)。由此可见,对于距该台 23 km 的苍山 5.2 级地震,震前临沂台深井自然电位不仅能反映出与深井电阻率在时间上相一致的短临异常,同样也能反映出与电阻率异常变化形态虽不完全一致,但时间却非常一致的长期异常,并且,长期异常的出现与地震活动异常增强(1988 年 7 月莒南  $M_L$  4.1、1989 年 5 月莒南  $M_L$  4.4、1990 年 8 月苍山  $M_L$  4.4 级地震的连续发生)和孕震空区开始形成时间(图 4 纵向虚线 I)相一致,电阻率出现极小值之后转折上升,同时自然电位由逐渐明显的波动起伏之后又趋平稳这又与孕震空区的解体时间(图 4 纵向虚线 II)相一致,自然电位出现的波动起伏变化还与  $b$  值曲线( $M_L \geq 2.0$ )形态基本一致<sup>[2]</sup>。

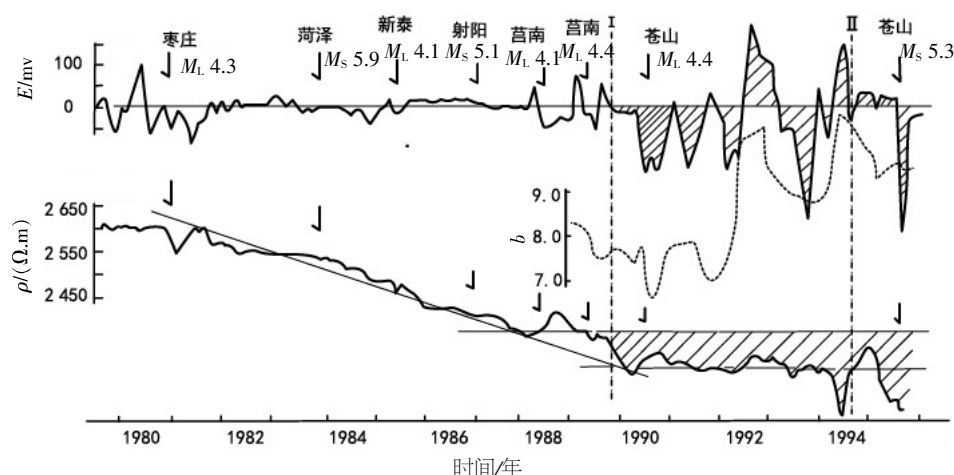
图4 临沂台深井自然电位和电阻率月均值曲线<sup>[2]</sup>

Fig.4 Monthly mean value curve of natural potential and resistivity of deep well in Linyi station

1998年开始,在临沂的郯城、费县、沂水、沂南等县利用水文地质部门的水动态观测用井,采用交流供电,单井垂向布极的电阻率测量,形成了深井电阻率前兆观测网。对这些测点观测资料的分析表明,在苍山5.2级地震前,位于苍尼、沂沭两大断裂上的苍山、郯城和沂水测点于震前26个月同步出现异常;位于两大断裂之间的费县测点和临沂台于震前17个月同步出现异常;有数条断裂与震中相隔的沂南和莒县测点于震前13个月同步出现异常。异常突变峰值于震前2年首先在两大断裂交汇部位的郯城测点出现,然后又以7个月和8个月的时间间隔在沂沭带上的沂水、莒县测点依次出现(图5、6)。短临异常现象也很丰富(图7),近发震断裂的苍山和费县测点,分别出现了以大致相等的时间间隔的峰值逐步衰减至平稳的短临异常现象。距震中较近的测点和较远的测点短临异常分别于震前111天和8天出现,其他测点在震前17~57天出现。可见,这些测点在苍山5.2级地震前出现的异常反映,与测点与震中间构造背景、所处的构造点位、距离等有关。

### 3 电极布置与干扰分析

从图5可看出,对于单井垂向布极的测点,除沂南测点和莒县测点电阻率曲线显示出较好的年变形态外,其它测点对地表年变干扰没有明显反映。由图1所示,若井内顶部——供电电极放置过浅或放置在干扰层内,其流经地表低阻层的人工电流对MN间电位差测量结果的影响会依然存在,这便是沂南和莒县测点出现规律年变的原

因。如莒县测点,井深209 m,供电电极AB分别置放于井口地表土层下4.4 m和井内186 m的位置,测量电极MN分别置于井内15 m和150 m的位置<sup>[6]</sup>,即顶部供电电极A距地面4.4 m,AB=181.6 m,顶部测量电极M距地面15 m,AM=10.6 m,MN=135 m。显然,供电A极和测量M极埋藏过浅,供电A、B极距和测量M、N极距过大,人工电场影响范围已涵盖了地表因素干扰层,因而所测电阻率结果受到地表降水、地表温度变化等干扰影响而呈规律年变形态。又如费县测点,井深161 m,供电电极分别置放于40 m和100 m的位置,测量电极分别置放60 m和80 m处,因其供电电极A极埋藏在干扰层之下,供电、测量极距布置合理,其测量结果就没有年变显示。这表明,利用单口深井在井内垂向布极,要布极适当、合理,才能避开地表年变干扰影响。

图7给出了费县测点2005—2013年自然电位和电阻率对比观测曲线,可看出,由于城市化进程的加快,造成观测环境的恶化,导致该测点电阻率曲线呈现出年变形态,但自然电位却没有明显的年变显示。这说明,因为自然电场和电阻率的物理意义不同,形成机理不同,在同样的测量条件下,测量电阻率的人工电场已受到干扰层因素影响,而测量电极置于干扰层之下的自然电位观测,能够避开上部干扰层内干扰因素影响。

### 4 结语

深井电阻率观测,是通过深井井内合理布极将人工供电场影响范围控制在干扰层之下的电阻率观测,虽能避开地表因素干扰,但财力投入成

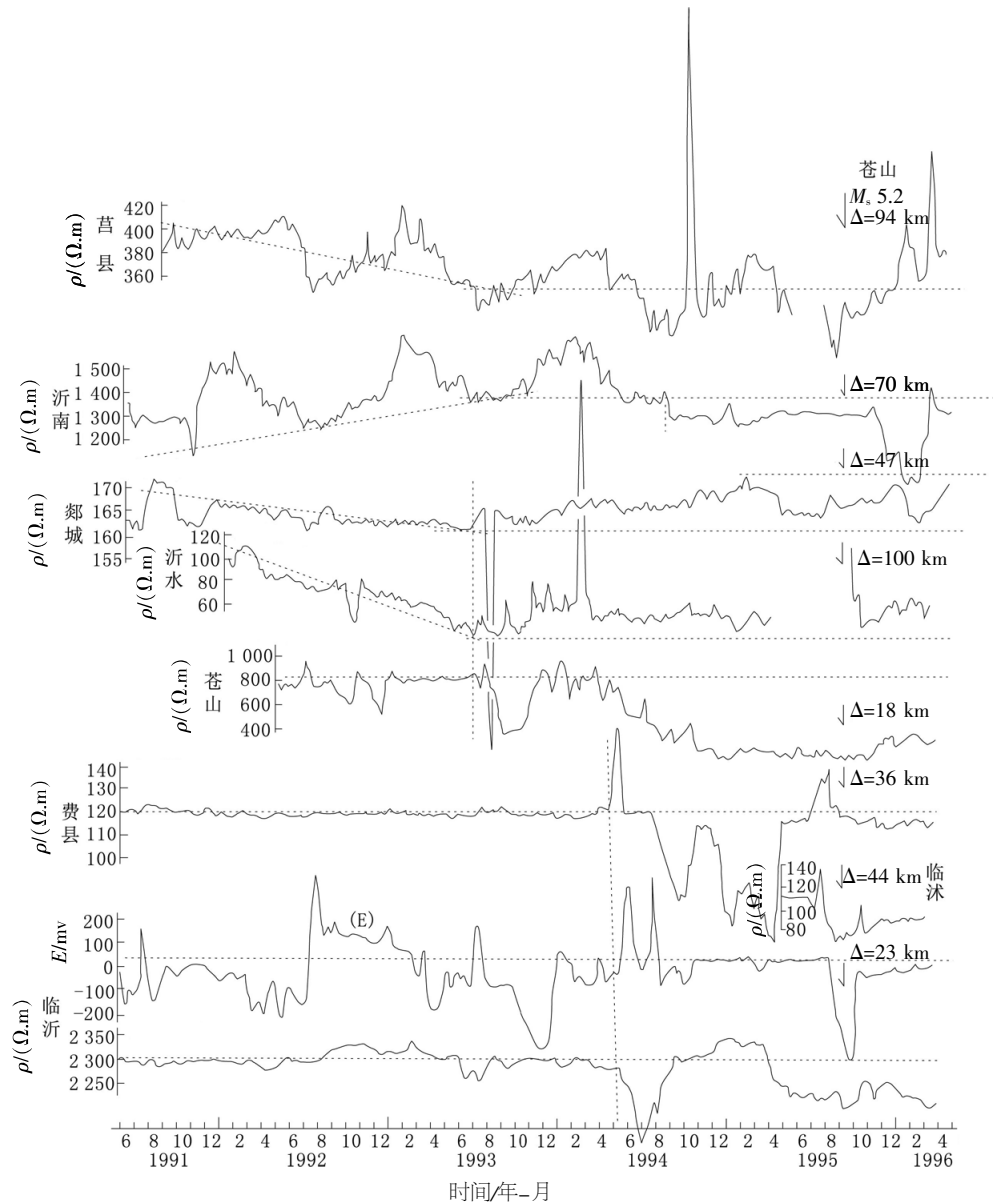


图 5 苍山  $M_s$  5.2 级地震前各深井测点电阻率和临沂台深井电阻率及自然电位五日均值曲线  
Fig.5 Five-day mean value curves of resistivity of each deep well, deep well resistivity and geoelectric potential of Linyi station before Cangshan  $M_s$  5.2 earthquake

本高，且电阻率的供电测量对同井内的高精度水位水温观测会产生影响，不适宜在同一深井内开展多测项前兆综合观测时使用。

深井自然电场(自然电位)观测，是通过深井井内布极，避开上部干扰因素(所产生的自然电流)影响的地下观测。由于自然电场与电阻率形成机理不同，在同样的观测条件下，自然电位测量更容易避开地表层因素干扰。并且，因为不需要供电，不会对同一口井内的高精度水温测量造成影响，因为只需要一对测量电极，可将其一测量电极放置于井内最大深度，同时，也给选择合理电极置放位置和测量极距留下了空间，这就更能够容易避开上部干扰层的影响，进而达到最佳测

量效果。

近几年来，配有高精度水位水温数字仪器的水动态地震前兆深井观测网在各地均有建立，因此，利用水动态深井网点进行深井自然电位观测，对现有数字化水位水温仪进行改进提升，增加自然电场的信息采集，并提高自然电位测量精度。如果将物理意义不同的水位、水温和自然电场这三项地震前兆观测手段应用于同一口井，进而形成综合观测深井网，将对地震预报尤其是短临跟踪预报具有积极的意义。



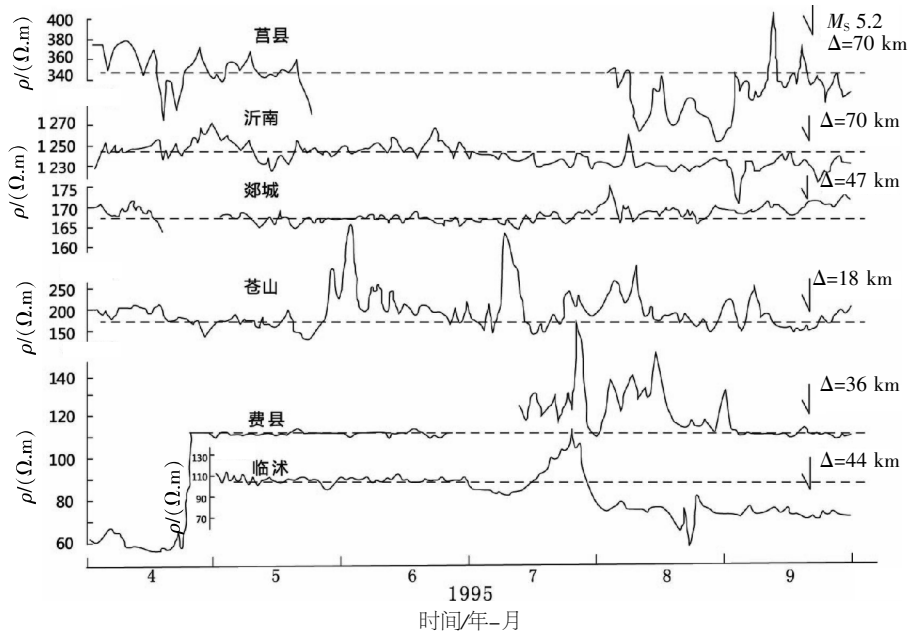


图 6 各深井测点电阻率日均值曲线

Fig.6 Daily mean value curve of resistivity of each deep well stations

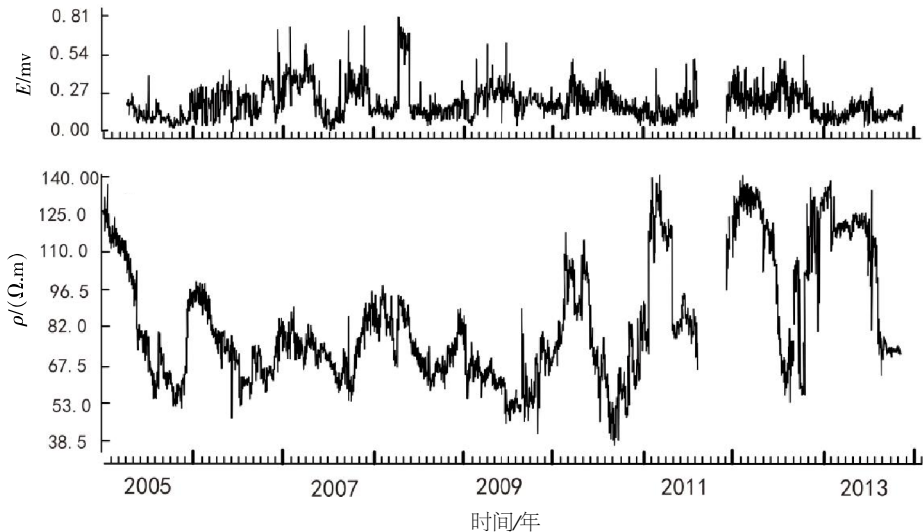


图 7 费县测点深井自然电位和电阻率比测日值曲线

Fig.7 Daily value curve of natural potential and resistivity of deep well in Feixian

参考文献:

[1] 王帮本, 刘永兰, 李验轩. 深井电阻率与地震预报[J]. 地震研究, 1981, 4(4): 51-56.

[2] 孟庆武. 苍山 5.2 级地震前临沂台深井地电异常[J]. 西北地震学报, 1998, 20(1): 91-95.

[3] 孟庆武, 闫洪朋. 临沂台深井电阻率异常变化与地震的关系[J]. 西北地震学报, 1991, 13(4): 70-74.

[4] 魏光兴, 周翠英. 以菏泽 5.9 级地震为例试论中等强度地震预报问题[J]. 地震, 1989 (1): 67-69.

[5] 胡连英. 江苏射阳 5.1 级地震的中期预报和震前短临异常[J]. 西北地震学报, 1989, 9(1): 33-40.

[6] 尹相好, 田凤东, 赵庆红, 等. 山东莒县深井电阻率资料分析[J]. 防灾减灾学报, 2010, 26(2): 70-74.