

刘吉平, 刘锦, 严兴, 等. 和平台深井地电阻率在中强地震前异常特征[J]. 华南地震, 2019, 39(S1): 90-96. [LIU Jiping, LIU Jin, YAN Xing, et al. The Abnormal Characteristics of Deep Well Geo-resistivity of Heping Station before Moderate Earthquakes [J]. South China journal of seismology, 2019, 39(S1): 90-96]

## 和平台深井地电阻率在中强地震前异常特征

刘吉平, 刘锦, 严兴, 钟天任  
(广东省地震局, 广州 510070)

**摘要:** 介绍了和平台深井地电阻率观测概况和台站附近新丰江水库区的地震活动, 分析了深井地电阻率数据变化, 总结了在 6 次  $M \geq 4.0$  级以上地震发生前深井地电阻率的异常特征。深井地电阻率在中强地震前存在加速上升或加速下降的变化, 不同的异常形态可能和地震震源机制解有关。

**关键词:** 和平台; 深井地电阻率; 地震; 异常特征

中图分类号: P315.7 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662(2019)S1-0090-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.S1.015

## The Abnormal Characteristics of Deep Well Geo-resistivity of Heping Station before Moderate Earthquakes

LIU Jiping, LIU Jin, YAN Xing, ZHONG Tianren  
(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

**Abstract:** This paper introduces the observation of deep well geo-resistivity in Heping station and the seismic activity in Xinfengjiang reservoir area near the station, and analyzes the changes of geo-resistivity data in deep well, summarizes the abnormal characteristics of deep well geo-resistivity changes before six earthquakes with  $M \geq 4.0$ . The results show that the deep well geo-resistivity has accelerate up or down changes before Moderate earthquakes, which may be related to the earthquake mechanism.

**Keywords:** Heping Station; Deep Well Geo-resistivity; Earthquake; Abnormal Characteristics

收稿日期: 2019-02-26

基金项目: 广东沿海地震海啸危险区评介系统建设(2019B020208014)

作者简介: 刘吉平(1981-), 男, 硕士, 主要从事地震前兆数据分析处理工作。

E-mail: jipingliu@163.com.

# 0 引言

我国在 1966 年邢台地震后开始开展地震地电阻率观测, 经历 40 多年的发展, 在观测技术、物理试验、理论研究、数据应用于地震预报实践等方面都取得了巨大进步, 地震地电异常现象的存在已经得到实验证实和理论支撑。

随着工业化的发展和城市化的推进, 以及各种大型工程诸如高铁、城市轻轨、地下管网、高压输电线路的建设, 地电观测环境受到了严重干扰, 解决干扰的途径之一是把电极埋入较深的钻孔, 以抑制地表人类活动造成的影响, 所测的数据称之为深井地电阻率<sup>[1]</sup>, 该方法在实践中取得了较好的效果。

广东省河源市新丰江水库区的和平地电台, 从 1992 年开始深井地电阻率观测实验, 是国内较早开展此项工作的试点之一, 积累了较长时间的

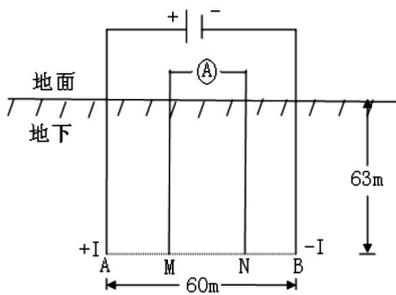
数据, 期间在台站附近发生了若干次 4~5 级地震, 本文尝试总结这些地震发生前深井地电阻率的变化特征并初步探讨其原因<sup>[2]</sup>。

# 1 和平台深井地电阻率观测

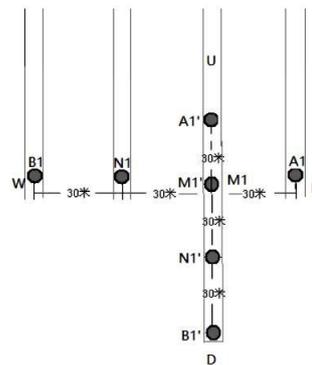
和平地电台为全国地电基本台之一, 位于河源市源城区和平村, 在新丰江水库大坝以东约 6 km, 河源盆地北东侧, 河源断裂以东约 4 km 处(图 2)<sup>[3]</sup>。

和平台深井地电阻率观测分为两个阶段:

第一阶段从 1992 年 8 月开始观测, 至 2014 年 8 月结束, 深井地电阻率观测为试验测道, 4 个电极均设在台站院子内, 测线布设呈北西向(N80°W), 总长 60 m, 采用对称四极装置, 电极埋深 63~64 m, 仪器为广东省地震局研制的数字化自动化地电仪 C-ATS (图 1a)。



(a)C-ATS 仪器



(b)ZD8M 仪器

图 1 两个阶段深井地电阻率观测布极示意图

Fig.1 Deep well geo-resistivity observation pole distribution during two stages

第二阶段从 2013 年 12 月底开始运行, 由背景场项目建设, 共有 2 个测道, 一个为近东西向的 A1M1N1B1, 4 个电极均埋设在地下 90 m 深处, 测线长 90 m; 另一个是垂直向的 A1'M1'N1'B1', 电极地下埋深 60 m、90 m、120 m、150 m, 测线

长 90 m, 其中 M1 和 M1' 为两个测道的公用电极。仪器为中国地震局地壳应力研究所监制、北京震苑迪安防灾技术研究中心生产的 ZD8M 新型地电阻率观测仪(图 1b)、表 1<sup>[4]</sup>。2014 年 1 月至 8 月为两套设备观测的重合时段。

表 1 两个阶段深井地电阻率观测系统比较

Table 1 The observation systems comparison of deep well geo-resistivity in two stages

对比项目	第一阶段 (N80°W)	第二阶段	
		东西水平向	垂直向
观测时段	1992-08~2014-08	2013-12~现在	2013-12~现在
装置方法	对称四极	对称四极	对称四极
供电极距	20 m	30 m	30 m
测量极距	20 m	30 m	30 m
仪器设备	C-ATS	ZD8M	ZD8M
供电电压	220 V	220 V	220 V
辅助测项	自然电位差、电流	自然电位差	自然电位差

## 2 新丰江水库区构造及地震活动

### 2.1 新丰江水库区地质构造

新丰江地区的地质构造十分复杂，既有褶皱，又有断裂，还有多期岩浆活动。库区的构造主要有北东东、北北西、北北东三组(图 2)。北东东向断裂在地表不十分发育，但在深部则是本区的主体构造。地表仅表现为一些断续分布而延伸不长的断裂带或挤压带，如八月山、燕岩—五斗租、塔坑—葫芦坳及鸽子顶等挤压带或断裂带。北北西向断裂规模虽不大、长度不长，但分布甚广，并常常切断北北东向断裂，它是一组陡倾角的平

推断层和剪切节理，主要为左旋扭动；绝大多数结构面为石英脉及基性岩脉所充填。主要代表性断裂有：礁坑—双塘断裂、新港—葫芦坳石英群破碎带，它们共同组成石角—碉楼—白田断裂破碎带。北北东向断裂是地表最突出的构造，深部构造也有一些反映，它是 5 组以逆断层或逆掩断层为特征的断裂，压性为主，兼具扭性，它的主要代表性断裂有：东江断裂(下屯—杨树断裂)；河源断裂；人字石断裂；灯塔—客家水断裂。从地层岩性分布也可分为 3 个区：北部沉积岩区，中部花岗岩区，南部沉积岩区。以燕山期侵入花岗岩的新丰江岩体分布最广<sup>[9]</sup>。

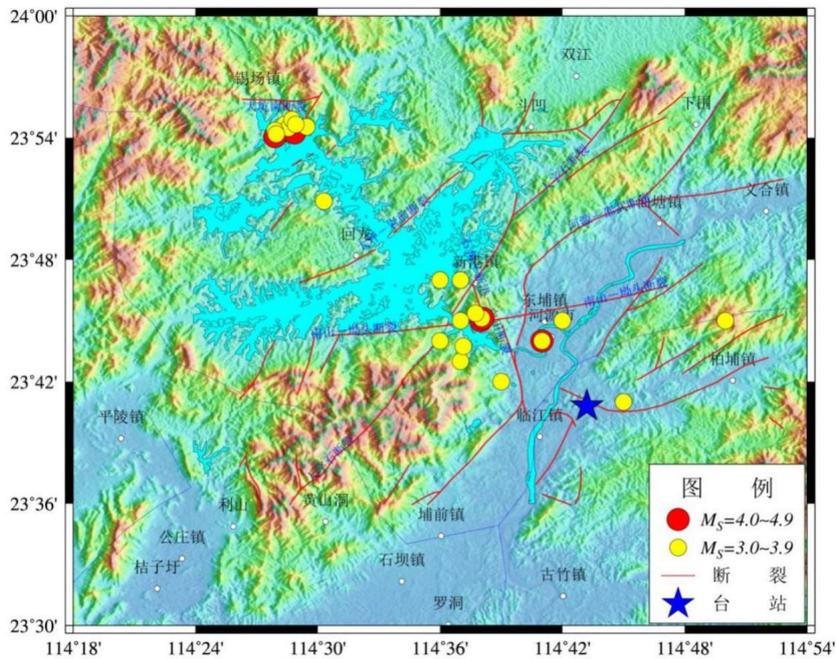


图 2 新丰江水库区构造和地震分布 (1993-01~2019-09,  $M \geq 3.0$ )

Fig.2 The geological structure of Xinfengjiang reservoir area and the distribution of earthquakes (1993-01~2019-09,  $M \geq 3.0$ )

### 2.2 新丰江水库区地震活动

1953 年以来新丰江水库区共发生  $M \geq 4.0$  级地震 27 次，最大为 1962 年 3 月 19 日的 6.1 级。水库地震区可划分为临近河源市所在地的水库大坝区、中部的回龙镇和西北部的锡场镇，4.0 级以上

地震集中发生在大坝区，约占 70%，该区域众多断裂交错分布，几乎所有地震发生在断裂带及其附近，总体上又沿着水库的中轴线呈北西条带分布。从 1993 年深井地电阻率观测以来，共发生  $M \geq 3.0$  级地震 30 次，其中  $M \geq 4.0$  级 6 次，有 4 次位于水库西北角的锡场镇。

表 2 1993 年以来新丰江水库区  $M \geq 4.0$  级地震

Table 2 The earthquakes with  $M \geq 4.0$  in in Xinfengjiang reservoir area since 1993

序号	发震时间	经度/(°)	纬度/(°)	震级/M	震中参考地点	震中距/km
1	1999-03-25	114.683	23.733	4.2	源城区市区	3.2
2	1999-08-20	114.633	23.750	4.6	新港镇	8.5
3	2012-02-16	114.473	23.906	4.8	锡场镇	32
4	2012-08-31	114.635	23.752	4.0	新港镇	8.5
5	2013-02-22	114.481	23.904	4.7	锡场镇	32
6	2014-07-11	114.465	23.901	4.0	锡场镇	32

### 3 深井地电阻率震前异常特征

#### 3.1 数据概况

图 3(a)为 1993—2014 年深井地电阻率的日值曲线,整体呈长趋势缓慢下降变化,其中在 2010 年 4 月 8 日更换电极和 2014 年 4 月下旬、5 月上旬仪器故障,出现两次较大台阶,另在 1997 年有

1 次人工试验和 6 次交换供电电极出现过小台阶变化,其他时段数据比较稳定。

图 3(b)和(c)为 2014 年至 2019 年第二阶段深井地电阻率观测的小时值曲线,2018 年 8 月 31 日因台站改造重设了仪器参数两测道出现较大台阶,2015 年 4~6 月台站内钻孔施工,两测道同时出现下降突跳,其他时段数据变化平稳<sup>[4]</sup>。

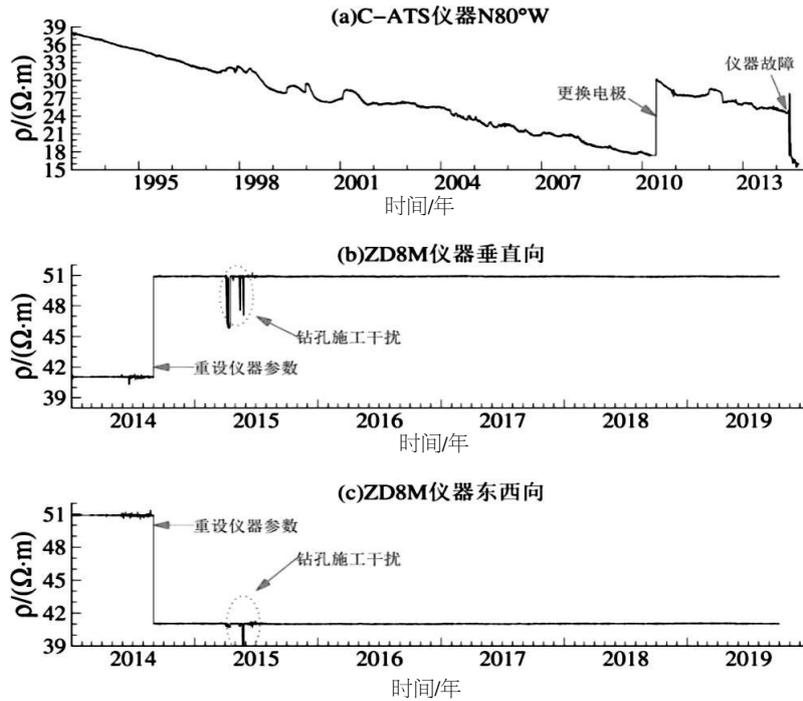


图 3 和平台深井地电阻率时序曲线

Fig.3 The time series curve of deep well geo-resistivity in Heping station

#### 3.2 1999 年 3 月 25 日 4.2 级地震和 8 月 20 日 4.6 级地震

1999 年 3 月 25 日 4.2 级地震发生在源城区市区,为正断为主兼右旋走滑地震,根据余震北东向分布,发震断层走向 59°,P 轴方位角 13°<sup>[5]</sup>,主压应力和破裂面夹角为 46°,和台站连线夹角约 45°。在测值本身长趋势下降背景下,从 1998 年 6 月 10 日,开始加速下降,至 12 月 2 日减缓,该时段共下降 3 Ω·m,降幅达 9%,之后成相对平缓的振荡下降,直到 3 月 25 日发震(图 4)。

1999 年 8 月 20 日 4.6 级地震发生在河源市郊的新港镇,为右旋走滑为主兼正断地震,根据余震北西向分布,发震断层走向 313°,P 轴方位角为 327°<sup>[5]</sup>,主压应力和破裂面夹角为 14°,和台站连线夹角近似平行。地电阻率测值从 1999 年 5 月 26 日开始加速上升,至 6 月 8 日共上升 0.84 Ω·m,上升幅度 3%,此后继续缓慢上升,至 8 月 20

日发震。

#### 3.3 2012 年 2 月 16 日 4.8 级地震和 8 月 31 日 4.0 级地震

2012 年 2 月 16 日 4.8 级地震发生在锡场镇,为左旋走滑地震,发震断层走向 350°,P 轴方位角 303°,主压应力和破裂面夹角 47°,和台站连线夹角约 22°并远离台站<sup>[6-7]</sup>。2011 年 12 月底测值加速上升,至 2012 年 1 月中旬达到最高值,累计上升量 0.9 Ω·m,上升幅度 3.25%,之后平稳变化至发震(图 5)。

2012 年 8 月 31 日 4.0 级地震,右旋走滑为主兼正断,发震断层走向 334°,P 轴方位角 315°,主压应力和破裂面夹角 19°,和台站连线近似平行并远离台站。2012 年 5 月份起开始加速下降,5 月 15 日之后进一步加速,5 月 29 日起趋于平稳。从 5 月 1 日至 5 月 29 日共下降 1.89 Ω·m,下降幅度为 6.72%,之后缓慢平稳回升至发震。

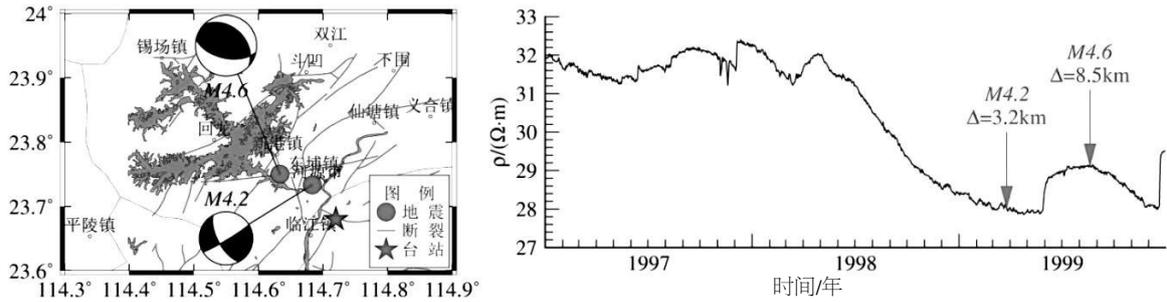


图4 和平台深井地电阻率日值曲线(1997—1999)

Fig.4 The daily value curve of deep well geo-resistivity in Heping station (1997—1999)

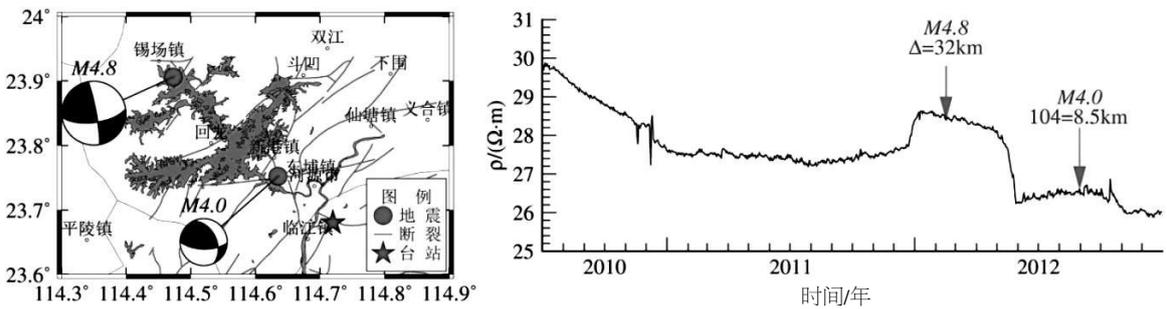


图5 和平台深井地电阻率日值曲线(2010—2012)

Fig.5 The daily value curve of deep well geo-resistivity in Heping station (2010—2012)

### 3.4 2013年2月22日4.7级地震

本次地震发生在锡场镇，为正断为主兼左旋走滑地震，发震断层走向 260°，P 轴方位角 103°，主压应力和破裂面夹角 67°，和台站连线夹角约 33°并指向台站<sup>[8]</sup>。地电阻率测值从 2012 年 12 月 18 日开始上升，至 2013 年 1 月 6 日达到最高值，该时段内共上升 0.39 Ω·m，升幅 1.51%，此后平稳来回往复振荡至发震(图 6)。

### 3.5 2014年7月11日4.0级地震

本次地震发生在新丰江水库西北角的锡场镇，为左旋走滑兼逆断地震，发震断层走向 62°，P 轴

方位角 108°，主压应力和破裂面夹角 46°，和台站连线夹角约 27°并指向台站。

本次地震发生在两套仪器观测的重叠时段，C-ATS 仪器在 2014 年 4 月下旬和 5 月上旬出现故障，恢复观测后测值有一较大的下降台阶，5 月中旬至 7 月上旬为平缓下降阶段，无法辨别震前是否存在异常<sup>[9-10]</sup>(图 7 (a))。

图 7 (b、c) 为 ZD8M 仪器的日均值曲线，震前及震后曲线都非常平稳，东西测道有一不明显的下降；图 7 (d、e) 为小时值曲线，数据变化幅度非常小，但在震前约 50 天开始出现高频突跳，震后也持续了一段时间。

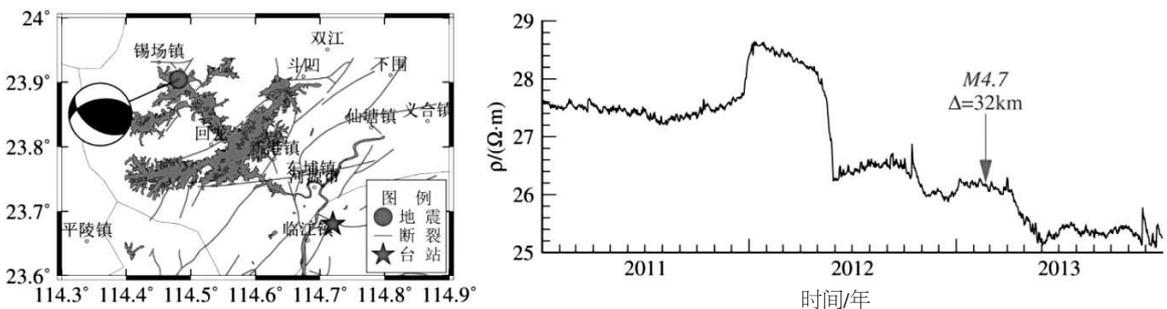


图6 和平台深井地电阻率日值曲线(2011—2013)

Fig.6 The daily value curve of deep well geo-resistivity in Heping station (2011—2013)

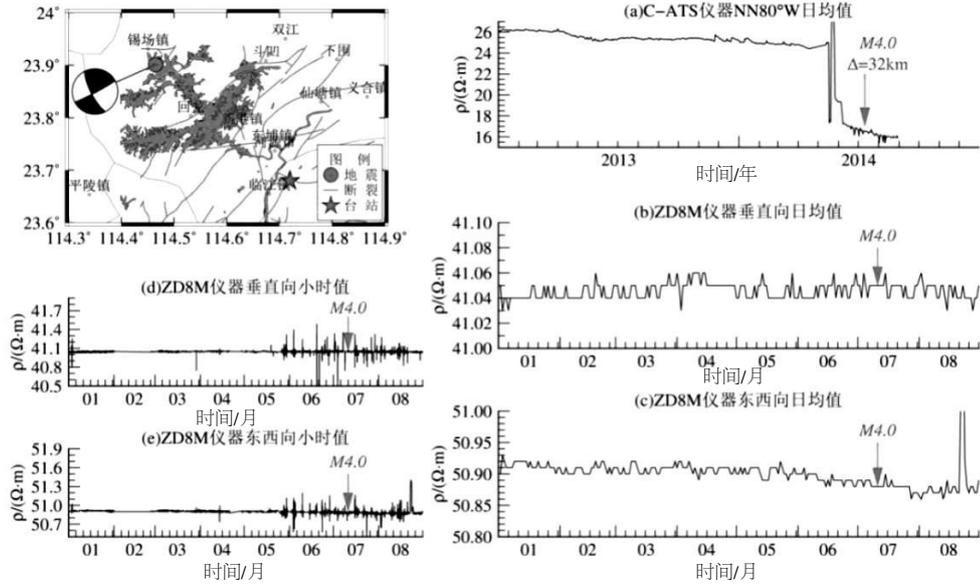


图7 和平台深井地电阻率曲线 (2014-01~2014-08)

Fig.7 The deep well geo-resistivity cruve (2014-01~2014-08)

在深井地电阻率观测期间, 4级以上地震有5次发生在 C-ATS 仪器观测阶段, 1次发生在 C-ATS 仪器和 ZD8M 仪器重叠的观测阶段(表3)。

地电阻率在地震发生前有2次明显的上升异常, 分为1999年8月20日4.6级和2012年2月16日4.8级; 1次明显下降异常, 为2012年8月31日4.0级。这3次地震的主压应力方向和地震与台站连线夹角

较小, 近似平行。另有1次不明显的上升异常, 为2013年2月22日4.7级地震; 1次不明显的下降异常, 为1999年3月25日4.2级地震。这2次地震的主压应力方向和地震与台站的连线夹角较大。在2014年7月11日4.0级地震前因 C-ATS 仪器故障不能判定是否有异常, ZD8M 仪器可能存在高频异常。之后台站附近未发生较显著地震。

表3 6次 M≥4.0 级地震深井地电阻率变化特征统计

Table 3 The variation characteristics of deep well geo-resistivity of 6 earthquakes with M ≥ 4.0

地震事件	异常阶段			平稳阶段		临震阶段	震后变化
	持续时间/d	变化量/(Ω·m)	幅度/(%)	持续时间/d	变化形态		
1999-03-25 4.2级	205	3	9	113	平稳缓慢下降	无明显变化	缓慢下降
1999-08-20 4.6级	10	0.84	3	68	平稳缓慢上升	震前5d达到最高值	缓慢下降
2012-02-16 4.8级	15	0.9	3.25	32	平稳上下起伏	震前8d达到最高值	缓慢下降
2012-08-31 4.0级	30	-1.89	-6.72	90	平稳缓慢上升	无明显变化	震后10d达高值, 后缓慢下降
2013-02-22 4.7级	19	0.39	1.51	34	平稳上下起伏	震前11d达最高值	缓慢震荡下降
2014-07-11 4.0级	C-ATS 仪器在4月底5月初出现故障; ZD8M 仪器日均值无明显变化, 小时值在震前约40d出现高频变化。						

### 4 结语

和平台深井地电阻率在中强地震前存在异常, 异常的形态呈现为“加速-平缓-发震”, 加速阶段既有上升也有下降; 异常的持续时间在加速阶段

约0.5个月, 在平缓阶段约2~3个月; 在地震的主压应力和台站与震中连线夹角较小时, 异常幅度会比较大。

深井地电阻率虽然能较好抑制地表环境的干扰, 但仍然存在一些影响因素, 本文没有更细致

地排除干扰因素,并通过一定数学处理方法来提取异常信息,ZD8M仪器观测时段内仅发生过1次4.0级地震,无法获取更丰富的震例。

#### 参考文献:

- [1] 王兰炜,张宇,张世中,等.我国井下地电阻率观测技术现状分析[J].地震地磁观测与研究,2015,36(02):95-102.
- [2] 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(03):40-45.
- [3] 广东省地震局.广东省地震监测志[M].北京:地震出版社,2005.
- [4] 刘吉平,严兴,陈智群,等.新丰江深井地电阻率钻孔施工干扰判定[J].地震地磁观测与研究,2016(03):132-136.
- [5] 康英,杨选,吕金水,等.广东及邻区地震的震源机制特征[J].中国地震,2005(03):320-331.
- [6] 邵叶,刘特培,刘吉平.2012和2013年广东新丰江锡场2次 $M_s$ 4.8地震发震构造的确定[J].地震,2016,36(02):132-140.
- [7] 刘特培,刘吉平,李键梅,等.2012年河源M4.8级地震活动特征及预测研究[J].华南地震,2012,32(02):20-36.
- [8] 朱亮,缪鹏.基于应变能分析南北地震带中段地震活动对华东地区的影响[J].华南地震,2017,37(2):53-57.
- [9] 董非非,吕坚,邓辉.华南地区基于小波变换的地震活动性分析[J].华南地震,2017,37(3):18-24.
- [10] 郑萍,张慧,沈繁鑫.2000年以来华南 $M_L \geq 5$ 级地震前的地震活动特征[J].华南地震,2018,38(1):101-107.