

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.01.019

## 和平台深孔电极地电阻率测值趋势下降原因分析

陈智群<sup>1</sup>, 柴剑勇<sup>2</sup>, 李敬<sup>1</sup>, 黄晖<sup>2</sup>, 刘东辉<sup>1</sup>, 秦乃岗<sup>2</sup>, 陈莉芬<sup>1</sup>

(1. 广东省地震局新丰江中心地震台, 广东 河源 517021; 2. 广东省地震局, 广东 广州 510070)

**摘要:** 通过多项实验观测对电阻率测值与电流出现相同趋势性变小的原因进行了探讨分析, 认为这是装置系统的重要构成部分即电极发生了变化, 从而导致了电阻率测值的趋势性下降。

**关键词:** 地电阻率; 深孔电极; 趋势; 电流 实验

**中图分类号:** P315.32      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-8662 (2014) 01-0117-05

## Reason Analysis of the Descending Trend of Measured Value of Geo-resistivity of Deep-hole Electrode at Heping Seismic Station

CHEN ZhiQun<sup>1</sup>, CHAI Jianyong<sup>2</sup>, LI Jing<sup>1</sup>, HUANG Hui<sup>2</sup>,  
LIU Donghui<sup>1</sup>, QIN Naigang<sup>2</sup>, CHEN Lifen<sup>1</sup>

(1. *Xinfengjiang Seismic Center Station, Earthquake Administration of Guangdong Province, Heyuan 517021, China*; 2. *Earthquake Administration of Guangdong Province, Guangzhou 510070, China*)

**Abstract:** This paper analyzed the reasons why the resistivity measurements has occurred the same decreased trends with the current through a number of experimental observation, based on the comprehensive discusses, we think that the change of the electrode which is the important constitute part of the device system thus resulting in descending trend of measured value the resistivity.

**Keywords:** Geo-resistivity; Deep-hole electrode; Current; Trend

### 0 引言

目前, 深孔(井下深埋电极)布极地电阻率观测方法在消除各类环境的干扰影响、大幅度缩小

观测环境保护区范围及对基岩电阻率变化响应应具有较高的灵敏度等方面的优势正得到越来越多的重视和研究。国内有不少地电台站由于遭受严重的环境干扰, 地表布极地电阻率观测已经难于取

**收稿日期:** 2013-06-08

**基金项目:** 广东省地震局地震观测(台站)科研专项基金资助部分研究内容(200903)

**作者简介:** 陈智群, 男, 1965年生, 实验师. 主要从事地震监测工作.

**E-mail:** hyczq@126.com.

得正常连续的数据,给地震前兆监测及分析带来很大的影响。基于这些原因,一些台站已经或准备将传统地表布极地电阻率观测改造为深孔布极地电阻率观测。

随着经济建设的快速发展,测区环境干扰的问题将不可避免。如何保证为地震预报需要地电阻率资料的长期积累,同时又可以保证观测资料不受经济建设的影响和干扰成为地电工作者研究和探讨的重要课题<sup>[1]</sup>。在这一研究思路的启发下,河源和平地电台(以下简称和平台)同时开展了地表布极和深孔布极地电阻率观测,期望通过深孔布极方法(即全空间地电阻率观测)达到减少甚至

消除地表干扰、获得较高的观测精度及保持长期连续的观测。

通过 20 多年的连续观测试验,和平台深孔布极地电阻率观测取得了预期的研究成果,积累了一定的经验。经过一段时间的实际观测后,发现了一些有待解决的问题,如电阻率测值一直呈现趋势性下降变化,如图 1(a)。引起这种变化的原因显然不是基岩应力应变的影响,也不是观测环境的影响,而更可能是装置系统出现了问题。另外观测电流的变化竟然与电阻率的变化具有相似的趋势性,如图 1(b)。按地电观测原理,电流的变化与电阻率无关,那么,该如何解析这些原因呢?本文通过实验观测方法,对以上问题进行了探讨分析。

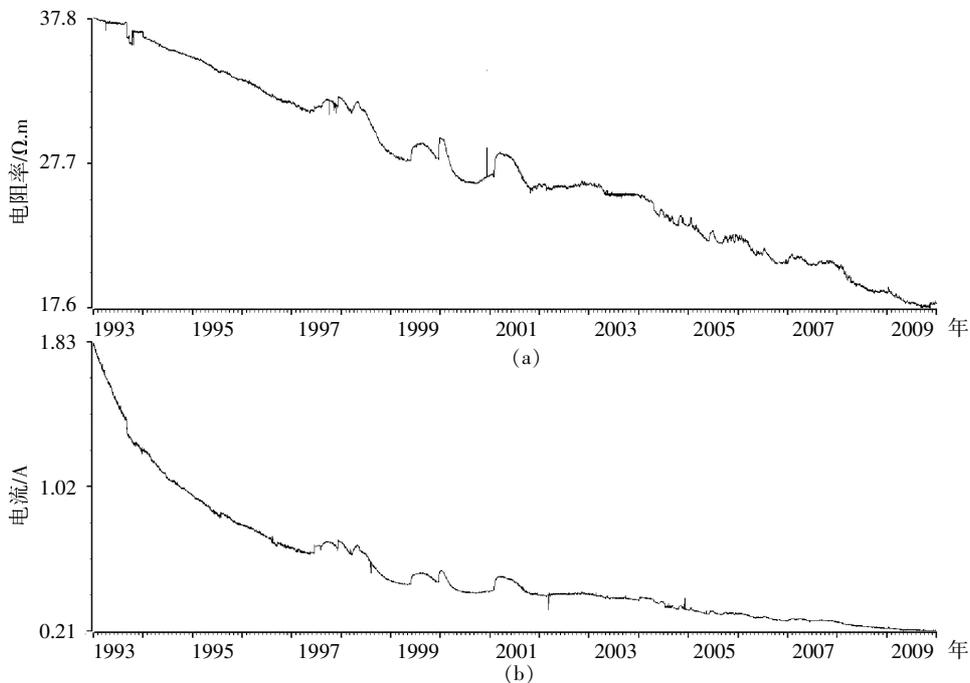


图 1 和平台深孔地电阻率日均值曲线(a)、电流日均值曲线(b)

Fig.1 Daily mean value curve of the deep-hole ground resistivity in Heping seismic station(a),daily mean value curve of current(b)

## 1 台站概况

### 1.1 和平台基本情况

和平台台址位于河源市东南郊(114°42′45″、23°43′28″),即河源盆地的北东侧河源-邵武断裂以东约 4 km 处。区内岩性主要为第三系丹霞群红色砂砾岩(红层)厚度约 240 m 左右,基岩埋藏较浅,有的地方地表可见,最深处约 15 m,基岩电阻率在 40~70 Ω.m 左右。据电测深资料显示,区内测深曲线为 H 形。测区范围内地形较开阔平缓,干扰源少。台站西、西南等方向虽有东江流过,但电极

距岸边均在 500 m 以上,符合规范要求<sup>[1]</sup>。

### 1.2 深孔电极地电阻率简介

#### 1.2.1 测线及电极布设

和平台地电观测采用四极对称方法布设三道测线,即南北向 N27°E 测道(A1B1: 997 m、M1N1: 315 m);东西向 N80°W 测道(A3B3: 1032 m, M3N3: 328 m);东西向 N80°W′短测道(即为布设于台站院子内的深孔布极, A3′B3′: 54m、M3′N3′: 18 m),图 2。外测线均为 Φ3 mm<sup>2</sup> 铜包钢架空裸线。

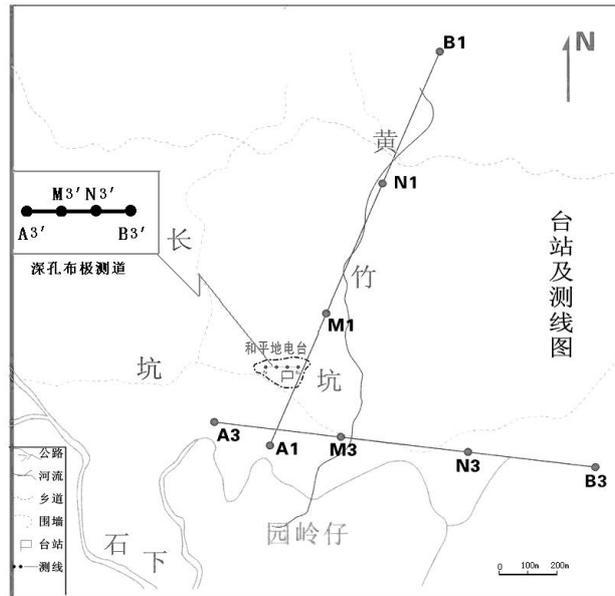


图 2 和平地电台测线布极图

Fig.2 Arrangement of survey line in Heping geoelectric station

深孔电阻率供电极及测量极均采用 3 mm 厚铅板卷成长 600 mm，直径为 60~75 mm 实心圆筒状电极<sup>[2]</sup>。各电极埋设深度分别为：A' 电极 65.30 m、B' 电极 65.65 m、M' 电极 63.50 m、N' 电极 64.70 m，如图 3。

1.2.2 仪器设备

观测仪器使用广东省地震局技术室研制的 C-ATS 自动地电测量系统，测量过程自动化。观测工作与地表电极测道同时进行，每小时观测一次。

1.2.3 电极初期接地电阻

电极埋设初期接地电阻每月测量 1 至 2 次，2010 年前按规范要求接地电阻每半年检测一次，

2010 年后改为每季度检测一次。由于在深孔中埋设的电极其体积受到限制，接地电阻值稍大，均在 30 Ω 左右(表 1)。

2 实验观测与分析

怀疑装置系统故障导致和平台深孔电极地电阻率测值出现趋势性下降，最直接有效的鉴别方法替换观测法。利用进行深孔多电极组合抗干扰课题实验的机会，对深孔各电极进行了替换观测<sup>[3]</sup>，即采用放置在井孔中的两组新电极逐个替换原电极进行对比观测。实验电极布置排列方法如图 4，电极放置深度分别是，A 测井：A'' 深 61.50 m、A''' 深 60.50 m；B 测井：B'' 深 56.00 m、B''' 深 55.00 m；M 测井：M'' 深 60.00 m、M''' 深 59.00 m；N 测井：N'' 深 58.50 m、N''' 深 57.50 m。各测井中，两新电极高差均固定为 1 m，接地电阻为 50 Ω 左右。由于新放置的电极埋深均超过供电极极距，

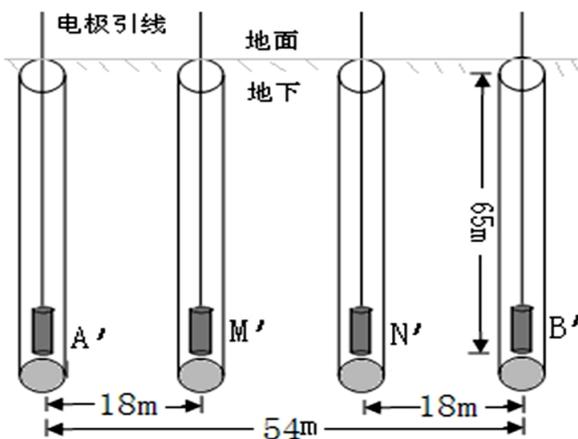


图 3 和平台深孔电阻率电极布设图

Fig.3 The electrode layout diagram of the deep-hole ground resistivity in Heping seismic station

表 1 深孔电极接地电阻值

Table 1 Grounding resistance of the deep-hole electrode

日期	电极/Ω			
	A'	B'	M'	N'
1992-07-15	39.0	25.0	40.0	34.5
1992-08-26	32.0	23.0	39.0	33.5
1992-09-17	33.0	23.0	39.0	34.0
1992-10-18	34.0	24.5	39.0	34.0
1992-11-18	34.5	26.0	40.0	34.5
1992-12-15	33.5	27.0	39.5	34.5

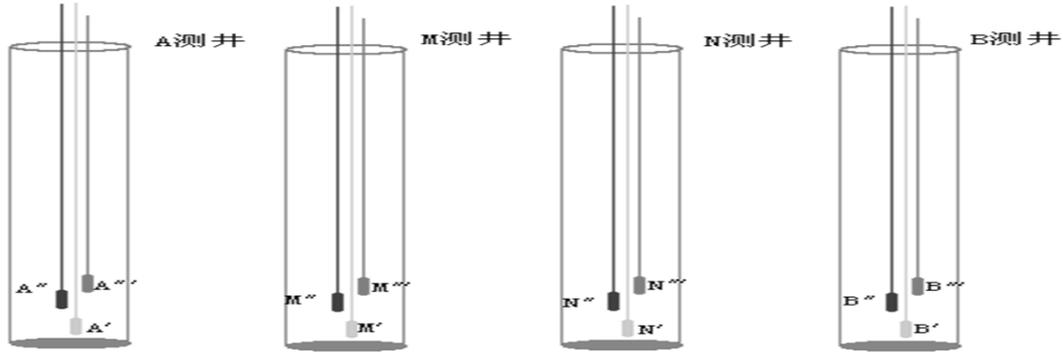


图4 实验观测电极布设图

Fig.4 The layout diagram of experimental observation electrode

装置系数无需重新计算<sup>[4]</sup>。

### 2.1 对比观测

#### 2.1.1 替换电极观测实验

为保证实验环境条件的相对一致性，电极替换观测在相同的时间段里进行。先对供电电极依次进行替换观测，当用新电极替换 B' 电极时，测值变化明显，用 B''、B''' 电极替换观测的电阻率值均比原测值有 75% 左右的上升，而替换 A' 电极观测结果与当时实际测值约 17.0 Ω.m 相当；其后对测量极 M'、N' 进行相应替换，测值与深孔电阻率当时实际测值对比明显偏小。实验观测结果见表

表2 实验观测结果(2009年9月18日23时)

Table 2 The results of experimental observation

观测电极	测值		
	I/A	V <sub>SP</sub> /mv	ρ <sub>s</sub> /Ω.m
A' M' N' B''	1.050	-30.5	31.72
A' M' N' B'''	1.097	-31.5	30.69
A'' M' N' B'	0.216	-21.8	16.94
A''' M' N' B'	0.214	-22.1	16.52
A' M'' N' B'	0.216	24.1	14.30
A' M''' N' B'	0.217	30.4	13.18
A' M' N' B'	0.216	-21.2	17.71

2。

#### 2.1.2 人工调整供电电流观测

在正常观测后，通过人工调整方法将电流上调 10% 及下调 10% 进行对比观测，比较调整供电电流前后观测值的变化。用该方法分别对未作电极替换及已替换 B' 电极的深孔布极测道各实测一组数据(表 3)。

#### 2.1.3 还原观测实验

由于 2010 年 4 月 7 日已经对 B 测井电极进行

了更换，至 2013 年 5 月 20 日外负载为 214Ω、电流 0.585A。为了验证外负载变化对电阻率及电流测值的实际影响，将 B 测井上引线断开串接不同阻值的电阻丝，通过人为改变外负载值，达到还原 2009 年电阻率测值在 17.0 Ω.m 左右时的情况，以 2009 年 9 月 18 日为参考，当天外负载为 579 Ω、电流约 0.216 A，实验时串接电阻丝最高值为 397 Ω，外负载达到 611 Ω 时深孔电阻率测值为 17.4 Ω.m。改变外负载后电阻率及电流测值的变化规律见图 5。

### 2.2 实验结果分析

表3 调电流前后深孔电阻率观测值(2009年9月22日)

Table 3 The observed value of deep-hole ground resistivity before and after adjusting the current

电流情况	观测电极	测值			
		ΔV	ρ <sub>s</sub>	I	ΔV/I
上调	A' M' N' B'	18.80	17.79	0.239	78.66
正常	A' M' N' B'	17.01	17.73	0.217	78.38
下调	A' M' N' B'	15.48	17.69	0.198	78.18
上调	A' M' N' B''	160.72	31.75	1.145	140.37
正常	A' M' N' B''	146.21	31.83	1.039	140.72
下调	A' M' N' B''	131.12	31.62	0.938	139.79

注：装置系数 K=0.226 2 km

#### 2.2.1 外负载变大导致电流变小

设 R 为外负载、r 为电源内阻，根据欧姆定律  $I = \frac{E}{R+r}$ ，如果使用的是稳压电源，R 增大后 I 必然减小。和平台地电观测使用的是直流稳压电源，输出电流随负载变化大<sup>[5]</sup>，还原观测实验也证明了这一事实。通过替换电极实验观测发现，替换 B' 电极后，电阻率测值发生明显变化，表明 B' 电极已经严重极化。由于 B' 电极的逐步极化老化(B' 电

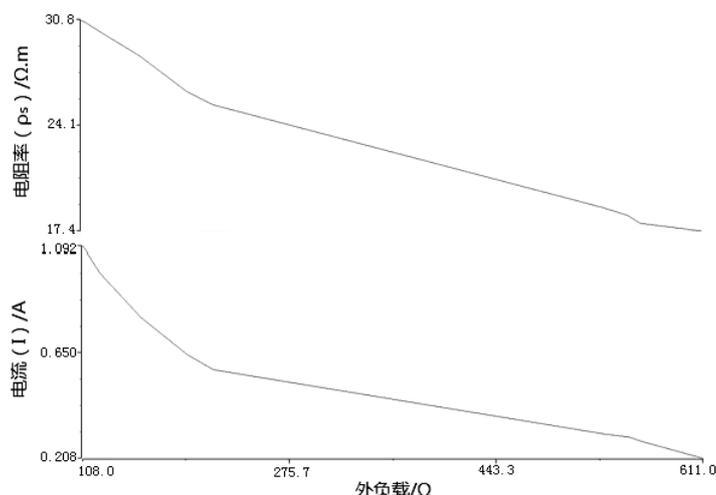


图 5 外负载与电阻率、电流测值变化关系

Fig.5 The relationship between external load and the change of resistivity and current value

极接地电阻值至 2009 年已达 470 Ω), 致井下地电阻率观测回路外负载逐步变大, 电流一步步变小。

### 2.2.2 电极装置变化导致电阻率测值变小

根据计算公式  $\rho_s = K \frac{\Delta V}{I}$ , 电阻率  $\rho_s$  与测量电位差  $\Delta V$  与  $I$  的比值成正比, 与电流强度的大小无关。但本例电阻率的变化趋势与电流的变化趋势相似, 这似乎与地电观测原理不符。对此, 我们可以再从实验结果寻求解析, 人工调整仪器观测电流后,  $\rho_s$  测值平稳, 并没有出现随电流调整幅度相应的幅度变化, 这就证明了两个问题: ① 是观测仪器系统没有问题; ② 是电流变化与  $\rho_s$  无关。本例之所以会出现电流与  $\rho_s$  相似的变化趋势, 是由于电极处于潜水中没有完全埋实, 较短的极距及单向供电的情况下导致电极较快极化, 电极接地电阻增大, 部分供电电流被其上方的水柱分流, 改变了原来电极供电电流的分布(向上的电流比例逐步增加), 导致了被测对象上移, 而地表为低阻层, 因此, 所测的视电阻率呈逐步下降的趋势。从上述实验可以看出, 供电电流的下降并不是造成电阻率测值下降的真正原因, 与供电电源是稳压源还是稳流源无关<sup>[6]</sup>。

## 3 结论

(1) 和平台深孔电极地电阻率测值出现与供电电流相同的趋势性变小, 是由于电极这一重要的测量装置发生了供电尺度上的改变, 而电流的减小则是供电电极的老化和所使用稳压电源的特性所致。如果将电极埋实处理并采用正反向供电

观测方法, 电极极化程度及速度将减轻和延缓, 以上现象或可明显减轻。

(2) 两道地表布极测道没有出现与井下测道相同的趋势变化现象, 是由于浅埋电极极距大、电极为组合电极体积较大并埋实, 没有发生明显的极化现象, 外负载相对变化不大, 同时其所测的是半空间的视电阻率(只有向下没有向上供电)。由此可见, 在地电观测中, 装置系统的稳定是非常重要的。

(3) 深孔电极地电阻率观测是地电观测未来发展的方向, 但由于缺乏经验, 进行这一项目建设的过程中可能会遇到许多困难和问题, 建议在立项和建设时制定出一套完善的实施方案和相应的技术措施。

### 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] 广东省地震局. 广东省地震监测志[M]. 北京: 地震出版社, 2005.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 何世根, 沈启兴. 地电观测技术[M]. 北京: 地震出版社, 2000.
- [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 (01): 190-195.