

井下地电阻率观测异常核实实例^①

高曙德, 郑卫平, 安海静, 陈彦平, 梅东林, 缙亚江, 杜春鑫

(甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要:针对 2015 年 12 月 17—19 日甘肃省陇南市汉王台地电阻率井下观测三道同步出现的振荡变化, 通过现场核实, 并对观测数据进行对比分析后得到: 此次垂向观测记录到的扰动变化不是来自深部地下介质的电性变化, 而是浅部的干扰, 可能因素是台站高压电扰动(或变压器漏电)与台站测区草坪浇水导致地表湿润易于传导有关; 通过这次异常核实, 对井下地电阻率观测有了较为完整的认识, 为资料突变核实步骤和分析方法积累了一定经验, 也为探讨深井地电阻率变化是否是地震前兆增添了佐证。

关键词: 地电阻率; 振荡变化; 异常核实; 资料分析; 结论判定

中图分类号: P315.722

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2016)增刊 2-0240-10

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2016.Supp.2.0240

Anomaly Confirmation in a Deep-well Geo-electrical Resistivity Observation

GAO Shu-de, ZHENG Wei-ping, AN Hai-jing, CHEN Yan-ping,
MEI Dong-lin, GOU Ya-jiang, DU Chun-xin

(Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: Vacillation changes occurred synchronously in three channels of the deep-well geo-electrical resistivity observation at the Hanwang station in the Chinese city of Longnan on December 17, 2015, and continued until December 24. The cause of these changes could not be determined, so we verified the anomaly on site. After a field survey and a comparative analysis of the observation data, we found that the disturbances were not from changes in the electrical properties of the deep underground medium, but from shallow interference. This could have been a disturbance in the high-voltage power through the station, or an enhanced conduction of the wetting surface caused by watering the grass in the observation area of the station. By identifying this anomaly, a comprehensive understanding of deep-well geo-electrical resistivity observation was acquired, and experience of the verification procedure and analysis method of data mutation was accumulated.

Key words: geoelectrical resistivity; vacillation change; anomaly confirmation; data analysis; conclusion determination

0 引言

中国在 20 世纪 60 年代中后期把地学的方法引入地震预测、预报中, 开启了地电学发展的一个新的应用领域。从此地电学把解决空间问题(物探)扩大

到解决定点随时间变化问题(地震预报), 开始利用直流电法(地电阻率)观测预报地震, 至今已有近 50 年的历史。台站地表的常规观测统一采用单极距的对称四极装置, 在此期间观测到了多次地震电磁现

① 收稿日期: 2016-04-01

基金项目: 甘肃省地震局地震科技发展基金(2014Y03, 2016Y01)

作者简介: 高曙德(1970—), 男, 副研究员, 主要从事地震监测、预报等研究。E-mail: gsd_gsd@126.com。

象,1976年7月28日唐山地震、8月16日松潘—平武地震前,河北昌黎台、甘肃武都台和四川甘孜台地电阻率都出现了临震异常变化^[1-3],为研究地电阻率预报地震的方法提供了典型震例。在这个历程中,中国地震局地电学者在仪器研制和理论上也有进一步的开拓和进展^[4-23]:(1)解决了高精度计算问题。在地震预报中,我们的实际观测、理论计算、数据分析都要求在物探的误差之内进行,通过多年的观测,实际总结误差应在1%之内;(2)引入了若干与时间有关的新参数、新理论,如“响应系数理论”、“变化地电剖面”概念、“电阻率对应变放大系数”等;(3)将地电异常变化与岩土介质受力状况相联系,开创了“力-电”参数联合正、反演计算的新格局;(4)受力岩土层的电阻率变化机理研究。此外还在地震监测预报和科研工作中,总结了诸多判断浅地表地电阻率变化与地震关系的方法和震例指标。

近年由于城市化进程的加快和地表人为干扰的增多,部分大极距的地面地电观测受到了严重影响,数据质量下降。面对这种窘境,我国的电磁专家从多极距地电观测技术中进行了引申和发展^[15],井下地电观测的发展逐步加快^[24-27]。甘肃省地震局在甘东南地区三个台站(天水、武都、平凉)建成了井下地电阻率观测。由于深井定点地电阻观测是最近几年快速发展的项目,目前针对该手段还没有专门的

评价标准和体系,仍然参考地面观测的有关规范和判定指标,而深井地电阻率观测过程中资料变化形态各异,如何去判断究竟是背景变化还是异常变化?这是目前地震工作者面临的、亟需解决的科学问题。本文以甘肃陇南汉王井下地电观测资料为例,在资料出现变化又有地震发生时,逐步分析核实地电阻率变化与地震事件的关系,并介绍异常核实的步骤和经验,供他人讨论和借鉴。

1 概述

1.1 异常概述

陇南汉王地电阻率井下观测三道同步从2015年12月17日开始出现了振荡变化,第一测道垂向(Z_7)和第三测道垂向(Z_{67})变化幅度达到了0.45%~0.55%;第二测道垂向(Z_{12})变化幅度达到了2.86%,到12月24日仍在持续。在此期间,2015年12月18日在甘肃省陇南市礼县(34.1°N,105.1°E)发生了 $M_s3.8$ 地震,距离汉王地电台只有85 km(图1),陇南武都地区震感明显。

测值变化后,2015年12月20日台站人员对该变化进行了初步核实,但核实结果是未发现明显的干扰原因。在异常变化不确定的情况下,甘肃省地震局预报中心组织有关专家和工作人员于2015年12月25日赴陇南汉王地电台开展现场核实。

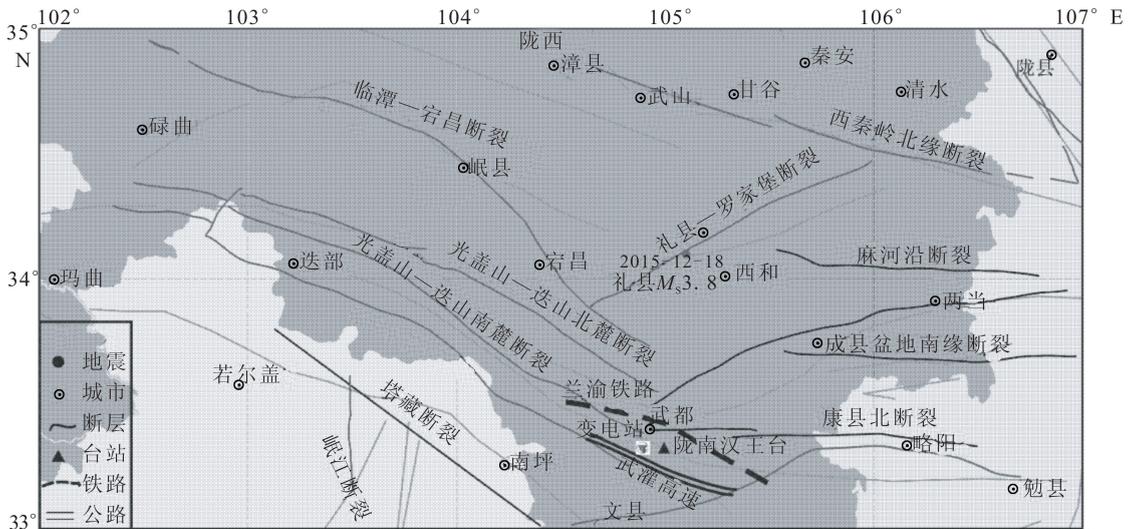


图1 甘肃陇南汉王台地理位置和测区断层分布示意图

1.2 台站背景资料

武都地电台从1974年开始观测,测区地形北高南低、西高东低,北靠山、南临白龙江。由于分化及雨水、洪水的作用,从山上冲刷下大量的碎石和沙

土,淤塞河道,表层形成了冲洪积扇覆盖物,覆盖厚度从东向西、从南向北约22 m增至100 m以上;表层为砾石沙土,下伏中上志留纪碳硅质板岩、黄铁矿片岩和磁黄铁互层,测区位于磁异常区附近。自

1974年建站以来,布设了三个测量道:N85°E道和N54°W道,供电极距1 km,测量极距0.333 km;N73°W道,供电极距0.924 km,测量极距0.308 km。其中N73°W道布设在其边缘,磁异常区峰值与走向断裂吻合。该测道靠近山麓,覆盖层较薄且高阻,受地下水的影响较小,其他两道覆盖层较厚,受地下水的影响较大。电测深曲线表明,N73°W道近似于Q型,N54°W道、N85°E道近似于A型^[28],是比较理想的地电观测点。武都地区属于西秦岭陇南盆地,台址附近4 km内有迭部—白龙江断裂,为左旋逆断层性质;东南13 km处有哈南—青山湾—稻畦子断裂,长95 km,正断兼左旋(图1)。近年测区周围人为活动明显加强,尤其是2008年“5·12”汶川M_s8.0地震后,观测环境发生了“质”的变化。2009年开始修建的武都高速公路横穿观测区域,此后在距离N85°E道观测场地A₁电极附近修建高压变电站,导致场地干扰和电磁干扰逐日增强。武都汉王地面地电阻率观测采用温纳装置,根据地电观测规范要求,观测系统周围环境保护区的范围达2~5 km²^[7]。但随着陇南武都地方经济的快速发展,四周被电站、兰渝铁路、武都高速公路及民房建设包围,武都汉王台地震观测环境遭到严重破坏,已无法满足观测要求。在这种状况下,汉王地电台亟需改造,于2011—2013年在陇南台院内建设井下观测,2014年与地面系统对比观测,2015年10月16日地面观测停测,目前只有井下测量。

1.3 深井布极参数

甘肃省地震局高度重视地电观测环境遭受干扰破坏的问题,从2007年起,积极组织国内地电专家多次实地考察和论证,历时3年,终于形成了较为稳妥可行的地电井下观测实施的技术思路。武都汉王地电井下观测工程的土建施工始于2011年12月,共有8口钻孔(图2),于2012年6月25日完成;外线路全部采用地埋方式,故土建安装完成后地面无通常的架空线缆,仅在一楼室外安装“线路检测装置”。电阻率测项分为“目标测项”和“对比与实验测项”两类,两个测项的电极埋深分别为155 m和5 m。具体步骤为:在钻孔的孔底、孔口各埋设1只电极,构成“两层”,孔口电极序号依次为1、2、…、8,孔底电极序号依次为11、12、…、18,电极的平面分布见图3;还敷设垂向观测,井7增设了两个电极:9号和19号,井6增加了10号电极,布极方式见图4,将这两口井作为垂向观测。观测系统建设完成后,经过一年的试运行发现目标层的电阻率在0.04~0.

06 Ω·m范围变化,所以将垂向测量的三道作为每天的整点观测,地面和井下的水平向在夜间凌晨2—3时观测。

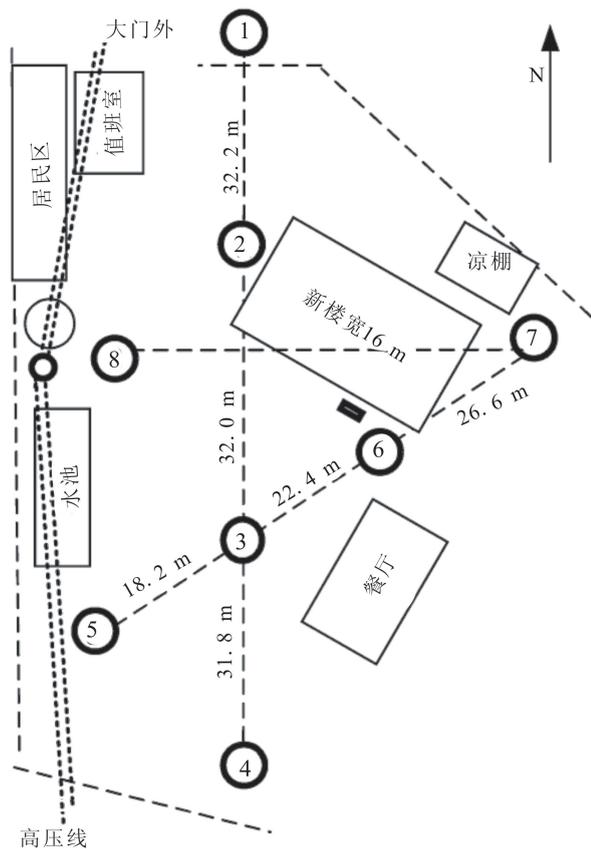


图2 井孔位置分布图^①

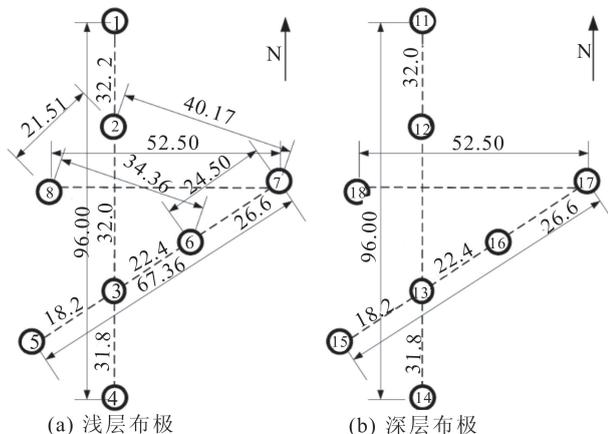


图3 水平向布极示意图(单位:m)^①

2 异常调查分析

2.1 现场工作前异常产生原因的初步判断

陇南汉王三道地电阻率12月17日出现异常变化后,甘肃省地震局预报中心前兆组首先打电话询

^① 安海静.武都井下地电观测建台报告.2013.

问陇南台地电观测人员,了解测区的环境变化和工作电压。紧接着 12 月 18 日距离台站 85 km 的礼县江口发生 3.8 级地震,对资料做相关分析后发现测值从 12 月 17 日开始三道同时出现向下的脉冲状扰动变化,且扰动频率接近。这个变化是否是这次地震的前兆异常变化?前兆组的工作人员通知台站值班员详细记录台站周围影响地电观测的事件,密切观测资料的变化,发现到 12 月 24 日三道地电阻率扰动仍未停止(图 5),说明这不是礼县 3.8 级地震的临震异常。那么这个变化如何解释,是干扰还是后续前兆异常?该局预报中心召开专题会商,初步分析认为这个变化规律性强,且三道形态相似,应该是一个近场电磁变化影响,并派出工作人员去现场调查核实。

2.2 观测系统检查

异常核实小组于 12 月 26 日到达陇南汉王地电台,会同台站人员对地电阻率观测场地进行了详细调查,并对观测系统进行了全面检查,检查的依据是《地震及前兆数字观测技术规范:电磁观测》^[29],下文简称《规范》。主要的测试项目是:

(1) 电极接地电阻检查

对陇南汉王深井地电阻率的供电电极和测量电极进行了测量,包括 8 孔井,19 个电极。正确测量

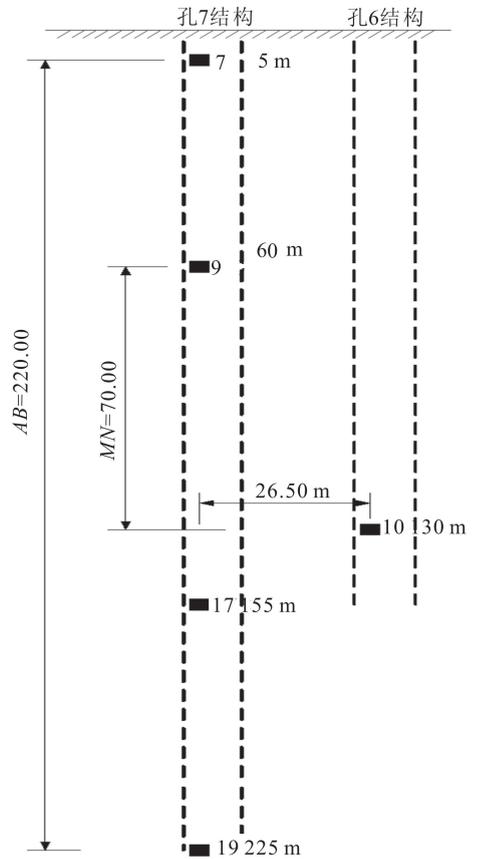
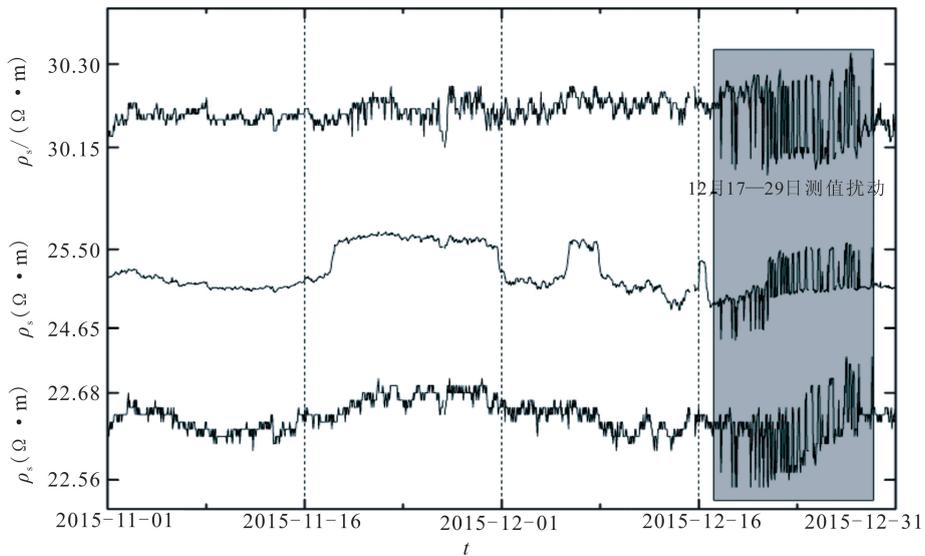


图 4 垂向(井 Z₆,井 Z₇)布极示意图



(第一测道是井 7 孔观测;第二测道是井 1、2 孔空观测;第三测道是井 7、6 孔观测)

图 5 2015 年 11—12 月陇南汉王地电台井下垂向观测整点值曲线

电极接地电阻有个前提,即被测电极、测试仪的测量极(黄线)和供电极(红线)三者之间的相对间距是特定的(用测试仪自带的线确定),且在同一轴线上,而

井下观测装置中被测电极远离测试仪,不满足正确测量的前提,所以测量结果并不精准。这次测量虽然不精准,但作为性能估判具有实用意义:19 个电

极中有 18 个正常(测值变化在 $4.2\sim 33\ \Omega$); 质疑 2 号电极(2 号电极是测量电极, 接地电阻 $300\ \Omega$), 且经过多次测量测值重复, 理论上分析测值不会这么高, 怀疑这个电极断路。后期处理建议: 放弃使用与

该电极有关的测道, 即入库分量二(图 5 Z_{12} 测道)用指标较好的孔 6(Z_6)垂直分量代替。电极测量结果列于表 1。

表 1 陇南汉王井下地电观测系统电极接地电阻及线路绝缘测量表

测项名称	测道	电极名称(序号)				电极序号	电极接地电阻/ Ω	线路的绝缘度/ $M\Omega$
		Ai	Mi	Ni	Bi			
地面 NS	1	1	2	3	4	2	12.2	>1000
地面 EW	2	7	6	2	8	3	300	$>1\ 000$
地面 NE	3	5	3	6	7	4	11.6	$>1\ 000$
孔 6 垂向	4	6	9	10	16	5	21.6	$>1\ 000$
孔 7 垂向	5	7	9	17	19	6	15.3	$>1\ 000$
NS 孔 1、2	6	1	2	12	11	7	11.3	$>1\ 000$
NS 孔 4、3	7	4	3	13	14	8	17.2	$>1\ 000$
EW 孔 8、2	8	8	2	12	18	9	12.0	$>1\ 000$
NE 孔 7、6	9	7	6	16	17	10	32.8	$>1\ 000$
NE 孔 5、3	10	5	3	13	15	11	4.2	$>1\ 000$
井下 NS	11	11	12	13	14	12	3.9	$>100\ 0$
井下 EW	12	17	16	12	18	13	3.6	$>1\ 000$
井下 NE	13	15	13	16	17	14	4.2	$>1\ 000$
						15	4.6	$>1\ 000$
						16	5.2	$>1\ 000$
						17	3.7	$>1\ 000$
						18	4.2	$>1\ 000$
						19	4.3	$>1\ 000$
							5.2	5
							抽水泵外线路	$>100\ 0$

备注: 陇南汉王地电观测 2016 年前入库的测道为 5、6、9; 2 电极的接地电阻为 $300\ \Omega$, 超出规范要求, 接地不合格, 建议更换第 4 道; 19 号电极外线绝缘为 $5\ M\Omega$, 满足要求。

(2) 井下线路绝缘测试

对全部 19 条井下线路的绝缘指标进行了测量: 其中 18 条大于 $1\ 000\ M\Omega$, 1 条(编号 19) $5\ M\Omega$ 。据《规范》界定为绝缘指标全部合格。需要指出 19 号电极埋深 225 m, 这一深度具有实验优势, 因此安装时专门装有实验附件, 附件借助了绝缘测试线, 所以 19 号电极电缆绝缘度为 $5\ M\Omega$, 但不会影响正常使用, 这一点与其他 18 条线路有所区别(表 1)。

(3) 陇南汉王台电气设施(水泵等)漏电测试

陇南汉王台院内有用电设施(水泵等), 且近期一直工作, 故对其漏电做了测试, 测试结果表明合格(表 1)。

(4) 观测仪器的标定

汉王台使用的地电仪器是中国地震局地壳研究所生产的 ZD8MI 多极距地电仪。仪器分辨率测量自然电位差 V_{sp} 为 $0.1\ mV$, 测量人工电位差 ΔV 为 $0.01\ mV$, 测量供电电流为 $0.1\ mA$ 。工作组对观测仪器进行检测标定, 其结果满足规范要求(表 2)。

(5) 稳流源电流档调整

2015 年 12 月 26 日调整了多极距仪器稳流源

电流档, 使之更符合仪器自身的测量需求, 减轻仪器和线路的过载电流, 以延长使用时间(这次调整确定人工电位差小于 $150\ mV$, 之前是 2013 年初次设立的试用值)。这次调整属仪器运行中的常规性维护, 调整记录列于表 3。

(6) 漏电检查说明

由于汉王台是深井观测, 电极无法在井下断开, 所以不能进行漏电检查。

(7) 人工电位差和自然电位检查说明

根据表 3 可以看出陇南汉王台深井观测各测道的供电电流为 $0.25\sim 1.91\ A$, 所以人工电位差无法做同一对比。但从测值可以看出, 井下 155 m 三道(11~13 测道)电流基本接近, 但人工电位差变化较大, 12 测道(EW)极距最短且不在同一线上, 但人工电位差值接近, 自然电场绝对值最小; 从自然电场的变化来看, 对于垂向观测的结果, 井下 155 m 电极电位比地表的电位高, 对于水平测量靠近北面电极的电位值相对于其他方向要高, 而北面电极距变压器较近恰说明这点。至于 155 m 处的电极电位值较高, 目前还没有合理的解释。

表 2 陇南汉王台 ZD8MI 地电阻率检测校准表

仪器名称	仪器型号	出厂号	标称指标	检验日期	室温/℃	温度/%	校准设备
地电仪	ZD8MI	1303	0.01 级	12 月 26 日	15	45	US34A
测程 1 200.000 mV				测程 1 200.000 (mV)			
标准值	仪器读数	偏差	允许偏差	标准值	仪器读数	偏差	允许偏差
V_0/mV	V/mV	$\Delta V = V - V_0/mV$	$ \Delta V_{max} /mV$	V_0/mV	V/mV	$\Delta V = V - V_0/mV$	$ \Delta V_{max} /mV$
1 200.000	1 200.006	0.006	0.276	-1 200.000	-1 199.993	0.007	0.276
1 000.000	1 000.006	0.006	0.236	-1 000.000	-999.995	0.005	0.236
800.000	800.005	0.005	0.196	-800.000	-799.997	0.003	0.196
600.000	600.003	0.003	0.156	-600.000	-599.998	0.002	0.156
400.000	400.003	0.003	0.116	-400.000	-399.999	0.001	0.116
200.000	200.002	0.002	0.076	-200.000	-199.999	0.001	0.076
100.000	100.001	0.001	0.056	-100.000	-100.000	0.000	0.056
80.000	80.000	0.000	0.052	-80.000	-80.000	0.000	0.052
60.000	60.000	0.000	0.048	-60.000	-60.000	0.000	0.048
40.000	40.001	0.001	0.044	-40.000	-40.000	0.000	0.044
20.000	20.001	0.001	0.04	-20.000	-20.001	-0.001	0.04
10.000	10.001	0.001	0.038	-10.000	-10.001	-0.001	0.038
8.000	8.001	0.001	0.038	-8.000	-8.002	-0.002	0.038
6.000	6.000	0.000	0.037	-6.000	-6.002	-0.002	0.037
4.000	4.001	0.001	0.037	-4.000	-4.002	-0.002	0.037
2.000	2.001	0.001	0.036	-2.000	-2.001	-0.001	0.036
1.000	1.002	0.002	0.036	-1.000	-1.001	-0.001	0.036
0.000	0.001	0.001	0.036	0.000	0.001	0.001	0.036

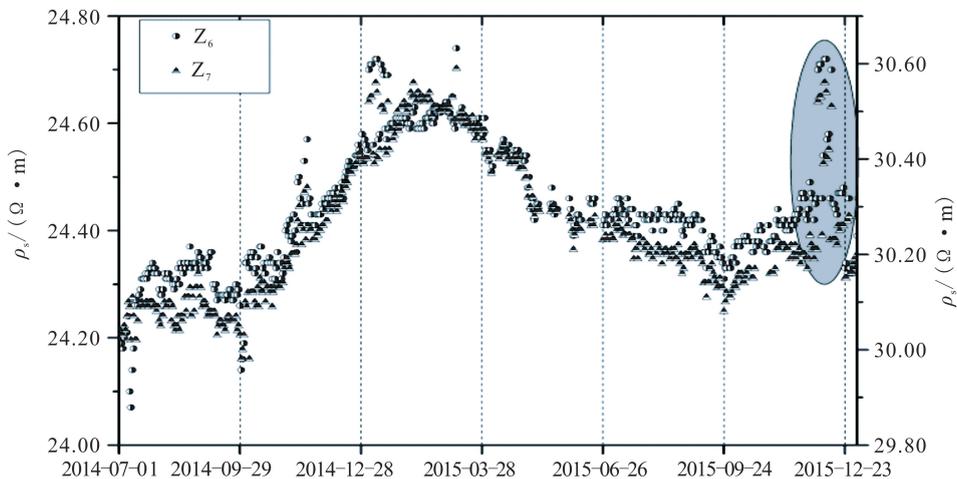


图 6 2014 年 7 月—2015 年 12 月陇南汉王台深井垂向(Z)地电阻率凌晨 2 时观测曲线

2.3 环境干扰调查

2.3.1 外部环境调查

陇南汉王台的地电观测场地集中在汉王地震台院内,四周均有明显的干扰因素。距台站北面不到 800 m 是兰渝铁路建设,路基已建成,目前无施工;南面是已建设通车的武灌高速公路,现正常通车;西面不足 500 m 是高压变电站,目前正常工作,也无施工;东面是居民区,随时都会出现各种未知的干扰,给判定带来一定困难。工作人员勘察了周边的环境,未找到明显的干扰源。

2.3.2 台站布极区勘察和调查

陇南汉王台地电观测井孔分布在台站院内,井孔和周围的地面于 2015 年 8 月重新种植了草坪,在 12 月 11 日开始进行抽水灌溉,一直持续到 23 日。其中 17—18 日从上午 9 时一直浇灌到下午 17 时,灌溉量较大。其次,台站的高压输电线(380 V)从北向南经过测区,距台站 200 m 有 315KVA 农用变压器,冬季用电负荷较大且无规律;台站的抽水临时线路也在电杆上随意搭载。

表3 陇南汉王深井地电观测自然电位、人工电位差和供电电流调整表

测道	档位	电流/A	供电方式	人工电位差/mV						自然电位/mV	
1	原5档	1.514 0	正	157.47	193.37	153.37	153.73	153.32	-	252.1	
			负	153.17	153.20	153.17	153.19	153.16	-		
	现4档	1.408 5 1.407 5	正	142.69	142.57	142.56	142.55	142.52	142.47		252.9
			负	142.39	142.36	142.36	142.32	142.30	142.30		
2	原2档	0.996	正	157.09	157.10	157.09	157.11	157.10	-	-118.5	
			负	196.80	156.79	156.79	156.79	196.79	-		
	现1档	0.254 8 0.2538	正	40.38	40.18	40.35	40.31	40.46	-		-130.1
			负	39.59	39.64	39.43	39.37	39.33	-		
3	原2档	0.999 8	正	147.60	147.42	147.39	147.38	147.38	147.21	-185.6	
			负	147.26	147.24	147.26	147.27	147.29	147.29		
	现1档	0.2546 0.2541	正	37.35	37.19	37.12	37.09	37.02	36.99		-125.2
			负	37.55	37.56	37.58	37.63	37.68	37.71		
4	2档	0.983 0.984	正	38.02	38.87	38.76	38.75	38.79	-	185.1	
			负	38.02	38.87	38.90	38.75	38.79	-		
5	5档	1.874 1.864	正	81.21	81.24	81.21	81.24	81.25	81.27	-302.9	
			负	81.09	81.10	81.07	81.11	81.03	81.12		
6	原5档	1.494 1.4917	正	146.47	146.32	146.32	146.25	146.35	146.30	-139.5	
			负	147.07	145.99	146.06	146.06	146.05	146.14		
	现4档	1.378 9 1.3783	正	134.79	134.82	134.74	134.71	134.51	-		-138.6
			负	134.38	134.37	134.27	134.40	134.42	-		
7	原5档	1.510 0 1.509 0	正	148.54	148.39	148.42	148.45	148.38	148.42	-152.6	
			负	148.38	148.38	148.37	148.40	148.43	148.47		
	现4档	1.3937 1.3933	正	137.06	136.94	136.91	136.89	136.98	136.92		-152.7
			负	136.94	136.94	136.94	136.92	136.04	136.98		
8	1档	0.254 4 0.253 7	正	52.82	52.68	52.94	52.97	52.83	52.97	-139.4	
			负	52.70	52.42	52.40	52.34	52.38	52.35		
9	原4档	1.385 9 1.384 5	正	157.32	147.92	158.62	159.41	160.20	160.98	-371.6	
			负	152.37	151.57	150.93	150.51	149.50	148.85		
	现3档	1.140 7 1.140 1 1.864	正	127.93	127.90	127.97	128.07	128.20	128.32		
			负	127.38	127.24	127.19	127.07	126.98	126.90		
			负	81.09	81.10	81.07	81.11	81.03	81.12		
10	2档	0.2546 0.253 9	正	43.34	43.24	43.21	43.16	43.14	43.21	-152.6	
			负	43.15	43.16	43.15	43.20	43.11	43.14		
11	5档	1.914 1 1.914 1	正	0.28	0.28	0.28	0.28	0.47	0.31	238.9	
			负	0.27	0.28	0.27	0.15	0.21	0.25		
12	5档	1.914 6 1.914 1	正	1.04	0.68	1.24	0.87	1.43	1.68	26.8	
			负	1.04	0.68	1.24	0.87	1.10	1.32		
13	5档	1.915 4 1.914 9	正	0.86	1.03	1.19	1.36	1.52	1.68	-262.7	
			负	0.24	0.41	0.57	0.74	0.90	1.06		

注:测道编号表1有说明,入库测道5、6、9;2016年1月用4道替代6道。

2.3.3 台站工作电压测量

2015年12月25日台站观测员对仪器测量前、测量时及测量后观测电压做了几组测试和记录,发现电压波动较小,符合要求(表4)。

表4 2015年12月25日陇南汉王台观测电压记录表

观测时间	观测前电压/V	观测中电压/V	观测后电压/V	电压变化范围/V
25日 18:55	219	220	221	219~221
19:53	220	221	220	220~221
20:53	220	221	220	220~221
21:55	221	220	221	220~221
26日 10:45	224	-	-	-

3 异常分析

3.1 深井其他测道分析

对陇南地电台凌晨2—3时观测值作图发现,从2014年7月开始观测以来,孔7和孔6垂向测量数据在每年的10月开始转折上升,次年2月中旬达到最高,然后转折下降;2015年12月5日以来观测值有明显的突跳变化(图6)(图6中左侧为孔6的观测值,右侧为孔7的观测值)。距地面5m的水平观测数据在2015年12月5日NS和EW两个测道同时发生变化,这两条曲线也有明显的年变化形态,上

一年 11 月开始至次年 3 月是高值变化,与当地的季节降雨和白龙江水位变化反向(图 7)。而地下 155 m 观测曲线在 2015 年 12 月变化稳定,无突跳点,但在每年 7—10 月有一定波动(图 8)。

3.2 典型干扰介绍

天祝台阵的红砂电场台在 2014 年建设扩张测

区时安装了变压器,此后观测受到了明显的电磁干扰,电场曲线有时出现剧烈变化,有时出现连续扰动。2015 年 12 月 28—31 日,南北向的电场受到干扰后记录了不规则的方波扰动(图 9),这种变化与陇南汉王台地电阻率变化曲线(图 5)在形态上具有相似性。

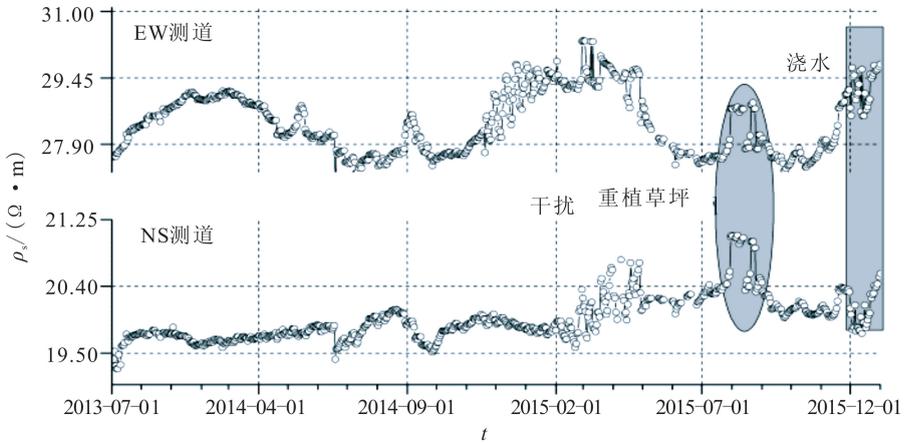


图 7 陇南汉王台距地表 5 m 凌晨 2 时水平观测地电阻率曲线

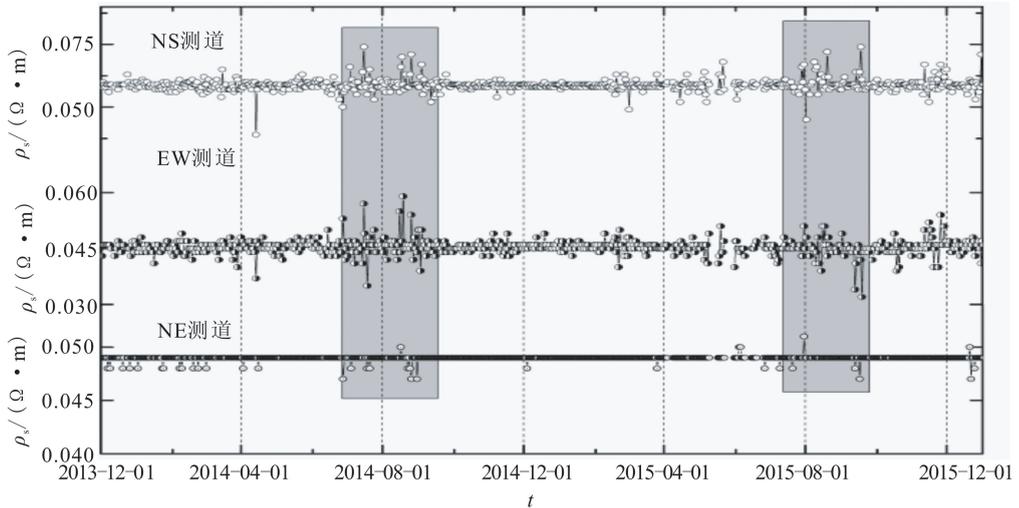


图 8 2013 年 12 月—2015 年 12 月陇南汉王台距地表 155 m 凌晨 2 时水平观测地电阻率曲线

3.3 汉王地电阻率测道调整后资料变化分析

2015 年 12 月 30 日汉王台电阻率扰动基本消失。由于井下 2 号测量电极接地不合格,2016 年 1 月 1 日用孔 Z₆ 测道替换垂向孔 Z₁₂ 测道。需要说明的不是因为更换测道扰动消失,而是更换前就已稳定。1 月 3 日后三个测道地电阻率测值平稳变化,在资料变化上升时段发生 2016 年 1 月 18 日礼县 4.0(震中距 100 km)和 21 日门源 6.4 级地震(震中距 570 km)(图 10)。因为陇南汉王台在 2015 年 10

月 16 日以前地面观测与井下测量同步,加上周围的各种干扰,资料的内在质量较低,所以对以前资料未作讨论。2015 年 12 月发生的扰动在以往震例记录中未见到相似的异常形态,但在干扰记录中(变压器漏电影响引起的)看到过相似变化。由于正常观测资料较短,无法给出电阻率变化与这两次地震的关系,故将其作为门源地震前的异常变化有待商榷;其次因观测的时间较短,缺乏对比,需有更多、更长的资料积累来做出肯定的结论。

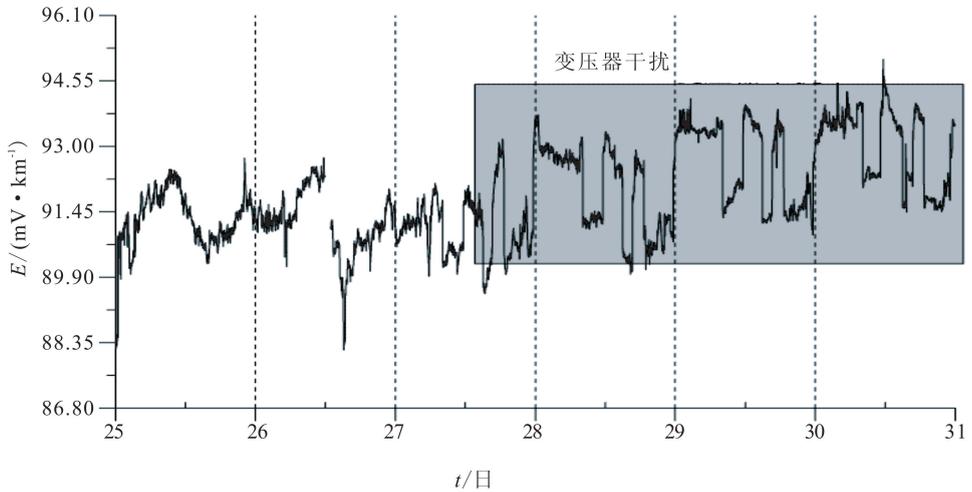


图9 2015年12月25—31日红砂台南北向电场分钟值曲线

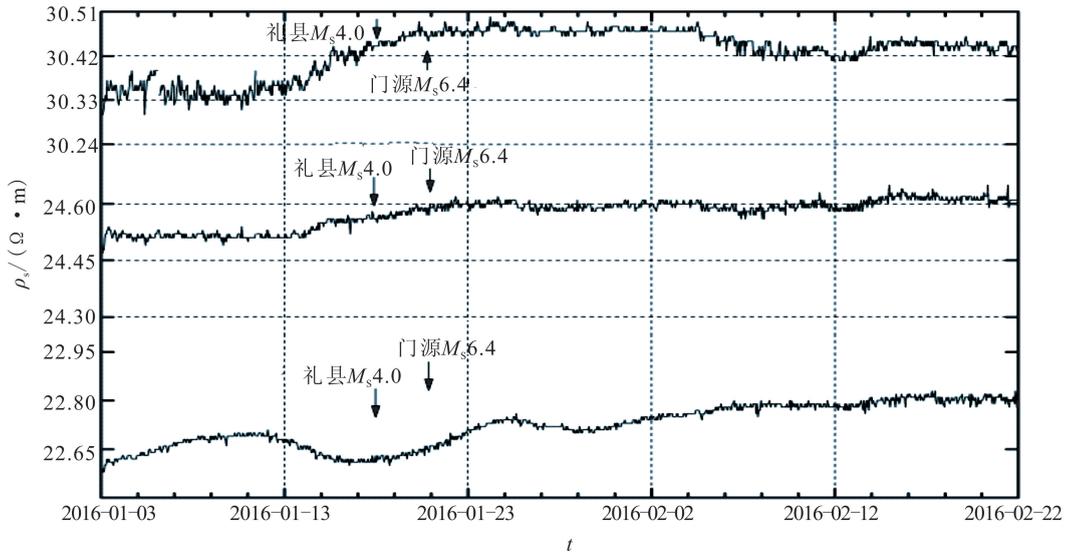


图10 2016年1月3日—2月22日陇南汉王地电台井下垂向观测整点值曲线

(第一测道为孔7观测值,第二测道为孔6观测值,第三测道为孔6、7观测值)

4 讨论和结论

4.1 综合信息分析和讨论

通过上述工作检查,观测系统(除2号测量电极外)和仪器的工作状态都正常,采用不同时段(凌晨2时和全天)、不同深度(5 m和155 m电极)、不同观测方式(水平和垂向)的观测数据进行对比分析,可以确定这次变化不是深部介质的电性变化,而是来自浅层的干扰变化。其主要原因有以下5点:

(1) 陇南汉王台每天整点垂直观测三道地电阻扰动变化具有同步性,从12月17日开始至29日终止,且三供电A极都距地表5 m处敷设;其次三道

变化形态与红砂台电场受变压器干扰记录的曲线具有相似性。

(2) 凌晨2时垂向观测两道地电阻扰动变化与每天(24小时)观测的变化时段一致,说明在夜间人文干扰活动减小的背景下,异常波动仍然存在,可以判定干扰源一定是近场的持续干扰。

(3) 凌晨2时距地表5 m水平观测两道地电阻扰动变化从12月5日开始发生转折变化,但变化没有垂向剧烈,这可能与垂向电极敷设深度、观测方式不同有关。

(4) 凌晨2时距地表155 m井下水平观测三道地电阻从12月开始几乎无大幅扰动变化,突跳点较少,说明地下介质电性变化稳定。

(5) 从 2016 年 1 月 1 日开始 M_2 电极不参加测量,将孔 Z_6 测道代替孔 Z_{12} ,3 日后垂向地电阻率测值变化稳定,无密集的突跳点。

4.2 结论

通过以上的讨论,可以初步得到:

(1) 2015 年 12 月 17—29 日陇南汉王台记录到的扰动变化不是来自深部地下介质的电性变化,而是浅部的干扰,可能因素是台站周边草坪浇水、高压电扰动或者与附近变压器负载变化引起的扰动有关,不作为震兆异常;

(2) 井下地电阻率观测电极深埋于井孔中,测量与供电线也深埋地下,较好地解决了地面基建开挖以及刮风、雷击等干扰问题。但对于垂向测量来说,浅地表电极依然存在地表的电磁干扰,所以分析资料时要考虑地面综合影响。

4.3 讨论

目前评价井下地电阻率建设和观测数据质量仍然依据地面地电阻率观测规范,但井下资料的变化形态及幅度有时与地表观测有较大区别,因此判断资料是否是异常变化要有新的指标和评价方法。本次异常落实过程中调整了仪器工作参数(稳流档),使得仪器工作状态更佳。从观测结果可以看出,第二道的 A2 测量的接地电阻不合格,该道可用孔 6 垂直分量取代入库分量 2;其次地下 155 m 的观测数据太小,下一步的工作是对该地层结构作相关的反演,查找低值原因,总结深井建设经验。

致谢:在落实异常之前,得到全国地电学科管理专家杜学彬、谭大诚研究员的建议和讨论,才使该项工作顺利完成,在此表示感谢。

参考文献

[1] 钱家栋.与大震孕育过程有关的地电阻率变化研究[J].中国地震,1993,9(4):341-350.

[2] 赵玉林,钱复业.唐山 7.8 级强震前震中周围形变电阻率的下降异常[J].地球物理学报,1978,21(3):181-190.

[3] 钱复业,赵玉林.地震前地电阻率变化十例[J].地震学报,1980,2(2):78-89.

[4] 赵家骝,李海亮,李建,等.用正向供电技术提高视电阻率观测精度[J].西北地震学报,1996,18(2):31-36.

[5] 赵和云,张文孝,杨明芝.水平层状介质中不同深度对地表 ρ_s 变化的响应特性[J].地震,1985,5(6):35-42.

[6] 赵和云.地电阻率趋势变化的形态特征与地震[J].地震学报,1994,16(3):465-474.

[7] DB/T 18.1—2006,地震台站建设规范地电台站第 1 部分:地电阻率台站[S].北京:地震出版社,2006:2-5.

[8] 杜学彬.在地震预报中的两类视电阻率变化[J].中国科学: D

辑,2010,40(10):1321-1330.

[9] 赵国泽,王立凤,汤吉,等.地震监测人工源极低频电磁技术(CSELF)新试验[J].地球物理学报,2010,53(3):479-486.

[10] 汤吉,詹艳,王立凤,等.5 月 12 日汶川 $M_s8.0$ 地震强余震观测的电磁同震效应[J].地震地质,2008,30(3):739-745.

[11] 黄清华.地震电磁信号传播的控制模拟实验[J].科学通报,2005,50(16):1774-1778.

[12] Huang Q.Geophysical Measurements Associated with the $M_s8.0$ Wenchuan Earthquake in Sichuan, China[J].Eos Trans AGU,2008,89(53):s52a-02.

[13] Lu J,Xue S Z,Qian F Y,et,al.Unexpected Changes in Resistivity Monitoring for Earthquakes of the Longmenshan in Sichuan,China,with a fixed Schlumberger Sounding array[J].Phys Earth Planet Inter,2004,145(1-4):87-97.

[14] Ma Q Z.The Boundary Element Method for 3-D dc Resistivity Modeling in Layered Earth[J].Geophysics,2002,67(2):610-617.

[15] 冯锐,郝锦琦,周建国.地震监测中的电阻率层析技术[J].地球物理学报,2001,44(6):833-842.

[16] 关华平,肖武军.电磁辐射仪“EMAOS”观测结果原理及震例[J].地震,2004,24(1):96-103.

[17] 王兰炜,朱旭,朱涛,等.地电阻率多极距观测系统及试验研究[J].地震,2011,31(1):20-31.

[18] 席继楼,赵家骝,王燕琼,等.地电场观测技术研究[J].地震,2002,22(2):67-73.

[19] 武安绪,张永仙,周元泽,等.基于改进型图像信息方法的汶川地震前电离层参量时空特征研究[J].地球物理学报,2011,54(10):2445-2457.

[20] 陈化然,杜爱民,王亚丽,等.地磁低点位移与地磁场等效电流体系关系的初步研究[J].地震学报,2009,31(1):59-67.

[21] 张学民,泽仁志玛,申旭辉,等.地震前后电离层截止频率处电场频谱强度变化分析——以 2006 年汤加 $M_w8.0$ 地震为例[J].地震学报,2011,33(4):451-460.

[22] 谭大诚,赵家骝,席继楼,等.青藏高原中强地震前的地电场变异及构成解析[J].地球物理学报,2012,53(3):875-885.

[23] 周剑青,郭建芳,朱彦珍,等.地震前昌黎台地电阻率变化特征分析[J].地震工程学报,2014,36(1):120-126.

[24] 吉野登志男,行武毅,著.钱复业,译.山崎断层井下电阻率的连续观测[J].世界地震译丛,1983,1(2):55-62.

[25] 田山,刘允秀,聂永安,等.地震地电阻率观测改进方法研究——电测井技术的移植应用与数值模型分析[J].地震学报,2009,31(3):272-281.

[26] 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.

[27] 陈雪梅,武银,张璇,等.岷县 6.6 级及芦山 7.0 级地震前天水地电阻率井下观测资料异常[J].地震工程学报,2013,35(4):816-818.

[28] 李乐进.甘肃省地电台址条件研究[J].西北地震学报,1985,7(2):72-76.

[29] 高玉芬,钱家栋,赵家骝.地震及前兆数字观测技术规范:电磁观测[M].北京:地震出版社,2001.