



2013 年岷县漳县 $M_s 6.6$ 地震 前/后地电观测引起的思考^①

杜学彬^{1,2,3}, 严玲琴², 范莹莹^{1,2,3}, 安张辉^{1,2,3}, 刘 君^{1,2,3},
陈军营^{1,2,3}, 谭大诚^{1,2,3}, 王建军^{1,2,3}, 崔腾发^{1,2,3}

(1. 兰州地球物理国家野外科学观测研究站, 甘肃 兰州 730000;
2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;
3. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:介绍了在 2013 年 7 月 22 日甘肃岷县漳县 $M_s 6.6$ 地震前/后地电学科所做的震情研判和预测预报工作, 评价了震中附近甘东南及邻区台站出现的地电阻率观测数据异常。认为:(1)在地震短临阶段和紧接震后提出的两个地震预测意见大致符合本次地震主震、余震发生的实际情况;(2)在数据异常中包括了与本次地震有关的前兆异常信息和由于台站观测环境变化引起的干扰数据异常, 震前震后的震情预测意见有一定程度的有科学意义和启示, 也存在明显的不确定性。最后强调了加大力度保护地电观测环境的重要性。

关键词:岷县漳县漳县 $M_s 6.6$ 地震; 地电; 数据异常; 前兆异常; 干扰

中图分类号: P315.722 文献标志码: A 文章编号: 1000-0844(2013)03-0513-09

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0513

Geo-electrical Forecasting and Observation prior to and following the Minxian—Zhangxian $M_s 6.6$ Earthquake of 2013

DU Xue-bin^{1,2,3}, YAN Ling-qin², FAN Ying-Ying^{1,2,3}, AN Zhang-Hui^{1,2,3}, LIU Jun^{1,2,3},
CHEN Jun-ying^{1,2,3}, TAN Da-cheng^{1,2,3}, WANG Jian-Jun^{1,2,3}, CUI Teng-fa^{1,2,3}

(1. Lanzhou National Observatory of Geophysics, CEA, Lanzhou, Gansu 730000, China;
2. Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou, Gansu 730000, China;
3. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: This paper presents geo-electrical research in earthquakes and their forecasting performed prior to and immediately following the Minxian—Zhangxian $M_s 6.6$ earthquake and appraises the observation data anomalies in apparent resistivity that appeared at stations in south-eastern Gansu and its adjacent areas. The results of the research roughly agree with observation data of the actual principal earthquake and its strong aftershocks. In addition, the observation data anomalies include the anomalous information in apparent resistivity, which is directly associated with the earthquake and the data anomalies in apparent resistivity caused by certain disturbance factors. Therefore, the results have scientific significance in earthquake forecasting and obvious

① 收稿日期: 2013-06-20; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2013

基金项目: 国家自然科学基金(41374080); 中国地震局全国地电台网技术管理经常性项目

作者简介: 杜学彬, 男, 新疆维吾尔自治区沙湾人, 研究员, 主要从事地震电磁现象研究. Email: duxb@163.com

uncertainty; however, the testing is only tentative. Moreover, this paper examines several important factors in geo-electrical observation such as environmental protection because daily environmental disturbances have gradually restricted further development of such observation on the earth's surface. After surveying the operational aspects of geo-electrical stations, it is determined that developments in down-hole observation configurations or remote unmanned stations may lessen environmental disturbances when environmental protection is not possible.

Key words: Minxian—Zhangxian earthquake; geo-electricity; observation data anomaly; precursory anomaly; environmental disturbance

0 引言

上世纪 50~60 年代,日本、前苏联、中国等开展了地震地电阻率(也称“视电阻率”)实验观测,此后报道了被认为是与地震有关的地电阻率异常和地电承载实验、理论研究等成果^[1-5]。我国于 1966 年河北邢台地震后,由赵玉林等引入物探地电阻率法进行地震预报实验观测,此后由政府组织建设了大规模、长期连续观测的台网。目前在中国大陆人口密集、大/中城市附近的地震活动区/带共有 70 多个台站进行常规监测,每台布 2~3 个测道,采用地表电阻率对称四极观测装置,固定电极位置,多数台站供电极距,其中部分台站连续观测了近 50 年。台站最多的时期是上世纪 70~80 年代,全国运行观测近 120 个台站。由于迫于地表大极距地电阻率观测遇到的环境干扰的压力,上世纪 90 年代我国架设了井下(即通常所说的“深井”)电极的地电阻率观测装置^[6]。近年来环境干扰日趋严重,我国加大了推进井下地电观测的力度,同时开展了井下地电阻率观测的相关理论研究^[7-9]。

我国长期开展的地震地电阻率观测的实践使地震前地电阻率前兆现象受到广泛认同,特别是在 1976 年唐山 $M_s7.8$ 地震、1976 年四川松平 $M_s7.2$ 地震、2008 年四川汶川 $M_s8.0$ 地震以及一些中等地震前纪录了突出的地电阻率中期或/和短临前兆^[5,10-15];还对某些中等地震实施了基本准确的三要素 1 年尺度预测预报^[16]。2013 年甘肃省定西市岷县漳县发生了 $M_s6.6$ 地震,在地震发生前、后地电学科做了近期、短临阶段的地震趋势研判工作和震后趋势预测工作,在一定程度上符合后来的实际震情,但震后考察周围出现典型异常的台站,却引起了在震前出现的地电阻率数据异常究竟是与环境干扰影响的问题,值得深入思考和讨论。本文拟介绍本次地震前、后地电学科所作的震情研判和尝试性的预测预报工作,讨论在当前环境干扰日趋恶化的背景下需思考和亟待解决

的问题,这对于颇有争议的地震前究竟能否观测到前兆异常,进而实施地震预测预报似乎有所启示。

1 震中周围地电台站分布

本次地震发生时间为 2013 年 7 月 22 日 07 时 45 分,震中在甘肃省定西市岷县与漳县交界地区,震级为 $M_s6.6$,震源深度 20 km。据震后现场宏观考察,本次地震最高烈度为Ⅷ度,Ⅵ~Ⅷ区长轴方向是 NW 向^[17]。推测本次地震发生在整体上为 NW 走向的临潭—宕昌断裂带,该断裂由一组 NW 向断层组成,因未见本次地震的地表破裂,目前还不能具体确定是其中的那一条断层发震。震中区周围分布有 NWW 向的白龙江断裂带、NWW 向西秦岭断裂带、海原—六盘山 NW 向断裂带和近 NS 向武都南~通渭断裂带,2008 年发生汶川 $M_s8.0$ 地震的 NE 向龙门山断裂带距离本次地震的震中区约 200 km 左右。

距离岷县漳县 $M_s6.6$ 地震震中周围 400 km 范围内分布有甘肃、陕西、青海省和宁夏区的 9 个地电阻率台站、16 个地电场台站,最近距离台站为甘肃省通渭地电阻率台,震中距 125 km,最远距离为甘肃武威地电场台站,大约 396 km。之所以把台站限定到 400 km 的范围是基于以往的震例研究结果^[15]。上述台站、震中及其周围主要断层分布见图 1。由于震中周围的活动构造复杂,台站与震中之间分布有 1 至数条断裂带,震后总结异常得到:(1)在震前出现地电观测数据异常的台站显得比较凌乱,其中 4 个地电阻率台、12 个地电场台出现了数据异常;(2)地电阻率、地电场不同的台站在震前中期或/和短期出现数据异常^①。这里称谓数据异常的含义是:在观测物理量时间序列上的变化达到了的异常指标,但不一定是前兆异常。

① 范莹莹,刘君,谭大成. 2013 年 7 月 22 日甘肃岷县、漳县交界 $M_s6.6$ 地震地电台网观测简报. 2013 年第 5 期(总第 15 期). 甘肃省地震局,2013 年 7 月 26 日.

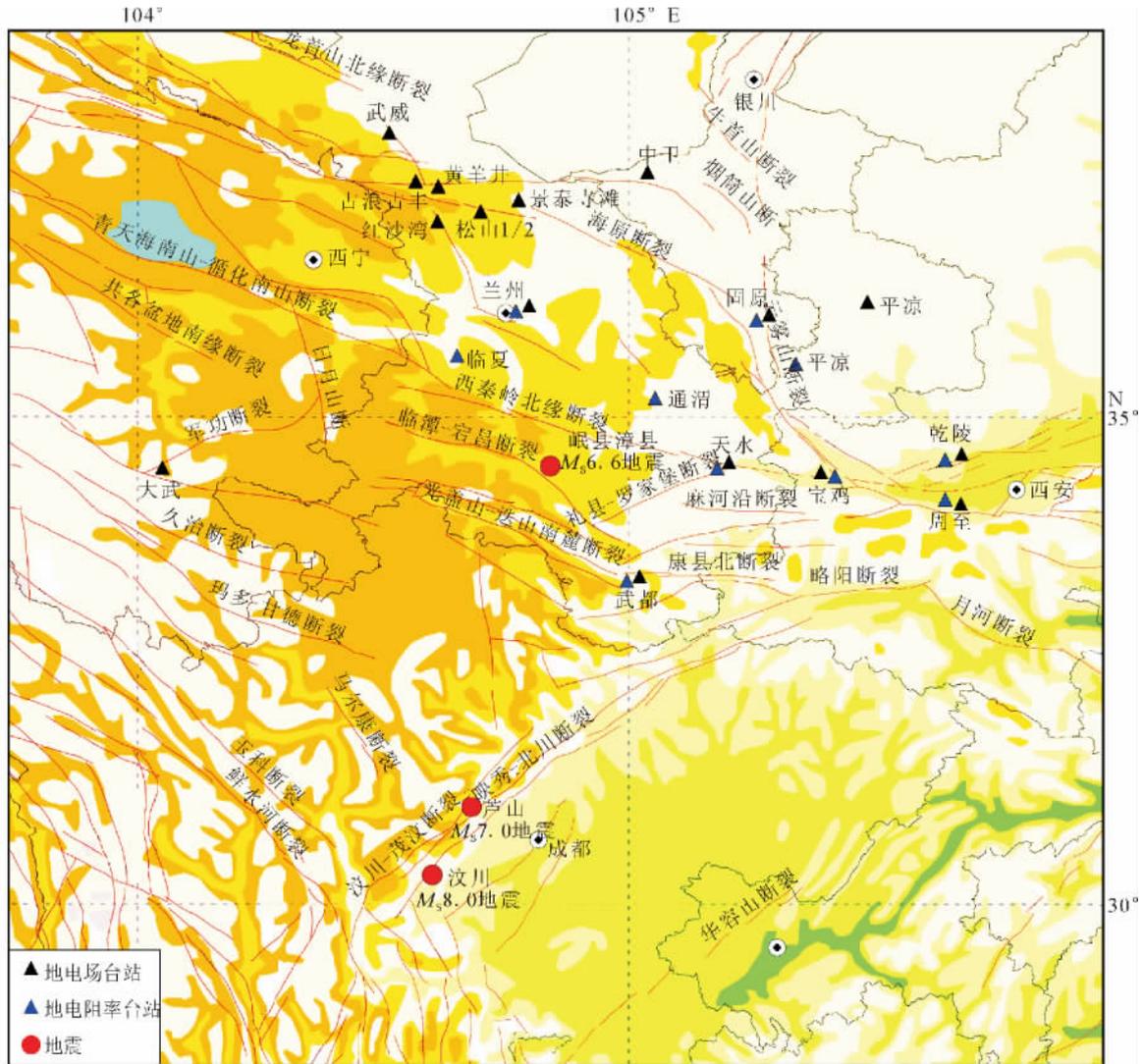


图 1 断层、震中和地电台站分布图

Fig. 1 Distributions of faults, epicenters and geoelectrical observation stations

上述台站中的大部分在震前观测装置、测量仪器等观测系统运行正常,但部分台站存在观测系统故障、观测环境干扰等问题,使得震后对观测结果的总结比较困难。数据异常究竟是地震前兆异常还是干扰因素引起的数据异常尚需深入分析和现场考察、落实。

2 震前、震后地震趋势预测工作

2.1 震前阶段

2.1.1 震前中短期阶段

2013 年 5 月 13—14 日,中国地震局监测预报司在甘肃兰州举行南北地震带北段震情研讨会。在本次会议上笔者从南北地震带中期趋势判断的角度处理分析了南北地震带北段地区及周边的甘肃、陕

西、宁夏、陕西、山西、河南省(区市)所属的 26 个地电阻率台站资料,在会上提出“这些台站中的绝大多数出现了中短期数据异常”,但未分析大面积分布的异常的原因,且考虑到观测环境等影响未进一步做出具体的地震趋势研判意见。

同月,兰州科技创新基地西部强震预测研究室(全国地电台网技术管理部成员)安张辉处理了全国地电阻率台网观测数据,撰写了《2012 年度全国地电异常分析及 1 年尺度地震趋势预测》报告^②,在报告中基于四川甘孜、甘肃陇南和天水地电阻率变化,提出:(1)四川北部与甘肃交界的四川南坪~松潘地区可能发生 $M_s 5.0 \pm 0.5$ 地震,可能的发震时间

② 安张辉,杜学彬. 2012 年全国地电异常分析及 1 年尺度地震趋势预测. 甘肃省地震局,2013 年 5 月 23 日.

段在 2013 年底之前;(2) 如果发生在白龙江南侧 NW 向断裂带武都段,则震级可能更大、但最大震级不超过 $M_s 7.0$ 。

2.1.2 震前临震阶段

2013 年 7 月初,中国地震台网中心预报部电磁学科组提出:地磁低点位移线起始于我国新疆东北部、甘肃西北部额济纳、内蒙西部与蒙古国交界附近,再经甘肃河西、甘南地区直至四川成都、川西南地区,并给出了 7 月中旬~下旬可能发生地震的时间段。甘肃省地震局非常重视本次低点位移现象,紧急召开震情会商会研判震情。在这样大空间尺度上具体判断可能发生地震的具体地点和震级是非常困难的。2013 年 7 月 12 日甘肃省地震局预报中心副主任李晓峰副研究员电话要求在太原参加 2012 年度全国电磁台网观测资料统评会的笔者在 7 月 13 日下午 03 点前针对本次地磁低点位移给出甘肃省内及周边地区的震情预测意见。笔者当晚处理了甘肃、山西、陕西等 7 个台站的观测数据,并基于 2013 年 5 月南北地震带北段震情研讨会上笔者的分析结果和安张辉撰写的报告^②,提出了以下两个意见:

(1) 甘肃河西的山丹、嘉峪关地电阻率台站周围 100 km 范围内近期不会发生 $M_s > 5.5$ 地震,150 km 范围内不会发生 $M_s 6.0$ 左右地震,无震预测时间段为 1 个月内。

(2) 陕西周至、甘肃通渭、兰州、陇南到四川成都、山西临汾等地电阻率台站显示中期异常,特别是周至、通渭台异常很突出,可能随时发生 $M_s 6$ 以上地震,重点注意地区是甘肃定西通渭~陕西周至。

由于甘肃东部地区及周围部分地电阻率台站受到环境干扰、台站改造施工以及个别台站观测系统故障等问题,且笔者临时处理数据的台站少,上述第二个意见仅仅是可能性的预测(不是一定发生地震的预测预报意见),并未形成正式的预测预报意见,仅供甘肃局预报中心在会商时参考,不如笔者对上述第一个意见的把握性大。提出上述两条震情趋势预测意见是利用了笔者主持完成的“地震前地电异常变化暨地电观测环境研究”科技成果中地电观测数据处理方法、地震地电前兆异常识别标准、地电阻率中期~短临异常与地震震级和时间的关系等研究成果^③,详见文献^[5,13,15-16]及报告^③。观测资料应用主要基于甘肃省通渭、天水、兰州、陇南和陕西周至等台地电观测数据,其中通渭、天水、周至台地电阻率观测是其中的主要台站。

在本次地震前夕的 7 月中旬,兰州科技创新基地西部强震预测研究室(全国地电台网技术管理部成员)谭大诚副研究员根据甘肃、宁夏、陕西、四川、青海等省(区)的地电场台网观测结果,也多次提出附近可能发生 5 级左右地震的震情研判意见,也是可能性的概率预测。

2.1.3 震前典型数据异常分析

甘肃通渭台始建于 1971 年,历史上观测装置有所变更。该台目前布设 $N20^\circ W$ (供电极距 AB 为 1 100 m)、EW 长极距测道(1 100 m)和 EW 短极距测道(700 m)。该台使用的测量仪器为 ZD8B 数字地电仪,其测量准确度优于 0.3% 测值,从实际观测的小时测值相对均方差的日均值之月均值看日常观测精度一般为万分之几测值。外线路短极距采用裸导线,其余两条线路采用绝缘电缆线,近年来外线路绝缘测试结果符合地电观测的技术要求。2012 年 3 月以前该台观测环境符合要求,大约 1999 年左右建设的天饒高等级公路(带金属护栏)有固定影响,但 2012 年 3 月以后观测环境发生了变化^④,在应用该台数据时不得不仔细分析干扰影响(将在在下节分析)。图 2 为岷县漳县 $M_s 6.6$ 地震前通渭台多年的日均值曲线。由图可见:(1)该台 3 个测道在震前 1 年左右均出现地电阻率下降变化,其中 $N20^\circ W$ 测道达到数据异常指标 1%,幅度约为 -2.3% (图 2(a))。EW 长、短极距两个测道接近或达不到异常指标(图 2(b)、(c));(2)出现打破年变化的异常,即使 EW 两个测道不能达到数据异常指标,但破年变化的现象还是明显的(图 2(a)-(c));(3)EW 短极距测道在临震前 10 多天出现显著的上升变化,也不能达到异常指标,但其上升的异常变化形态是清楚的;EW 长极距测道震前几个月出现高频次的地电阻率交替变化,幅度不大(图 2(b))。

图 3 是通渭台 $N22^\circ W$ 测道多年的地电阻率月均值原始曲线和归一化变化速率曲线。关于归一化变化速率方法(Normalized Variation Rate Method, 简称为“NVRM”)是杜学彬等在“九五”期间研发的一种数据处理方法^[15,18]。由此图可见,地电阻率原始月均值曲线上在岷县漳县 $M_s 6.6$ 地震前中期阶段出现了大于数据异常阈值的下降型变化,相对

③ 杜学彬,天山,解滔,等.地震前地电台异常深化暨地电观测环境研究(通过甘肃省科技厅组织的科技成果鉴定).甘肃省地震局,2012 年 12 月 18 日。

④ 严玲琴,范莹莹,陈建武,等.通渭台地电阻率异常落实报告.甘肃省地震局,2013 年 8 月 8 日。

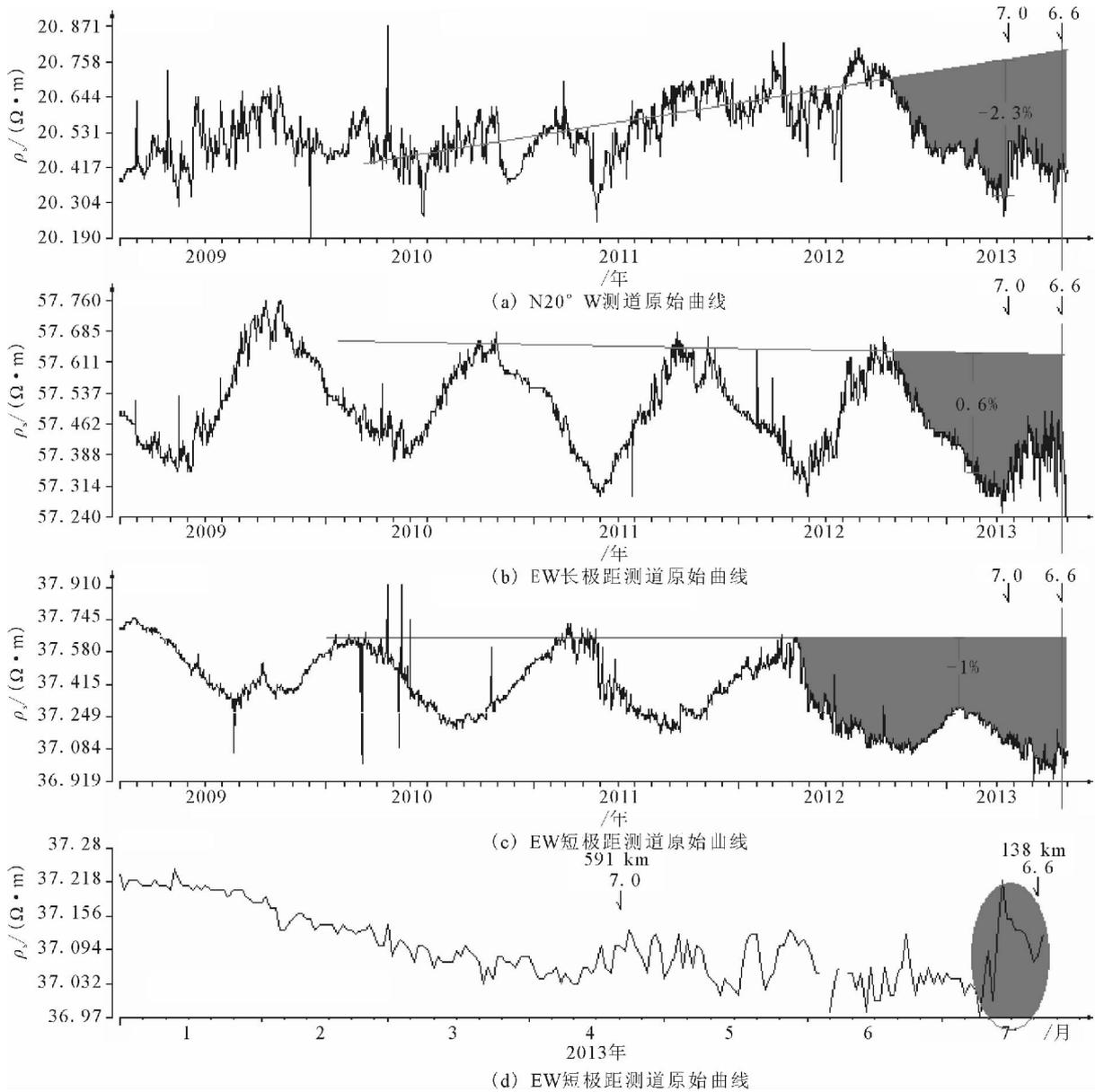


图 2 岷县漳县 $M_S6.6$ 地震前甘肃通渭地电阻率日均值曲线

Fig. 2 The daily mean value curves of apparent resistivity observed at Tongwei station in Gansu province before the $M_S6.6$ Minxian-Zhangxian

变化幅度约为 -1.52% (图 3(a)); 在归一化变化速率曲线从 2012 年底出现大于异常阈值的下降型异常变化 (图 3(b))。同时从图 3(b) 还可知, 在 2008 年汶川 $M_S8.0$ 地震 (498 km) 以及远距离的苏门答腊 $M_S8.5, 8.7$ 地震前也出现了明显的上升异常。

杜学彬等研究了地震前中期阶段的地电阻率异常得到^③: 地震前地电阻率中期异常主要以下降型 (负异常) 为主, 特别在强地震、震源区及附近 (笔者习惯上称之为“近震中区”) 的中期异常下降型变化集中的范围对等于震源断层破裂尺度^[5,15]; 近震中区中期阶段视电阻率异常各向异性变化与震源机制

解最大主要应力 (P-轴) 方位的有关, 优势表现在垂直或近于垂直 P-轴方位的地电测道显示最大幅度的变化^[14-15,19]; 震源区及周围的中期异常时间和空间分布存在震源区—震中的构造关联性^[15,20]; 在近震中区的地电阻率台站中期异常多表现为中期下降—短临阶段上升的变化过程, 吻合 DD 模式预言的震源区电阻率变化过程^[15,19]。

通渭台距离本次地震震中 138 km, 属于近震中区台站, 震前地电阻率变化表现为负异常。哈佛大学给出的本次地震震源机制解 p-轴方位近于 NE 向, 断层错动是逆冲兼走滑, 与中国地震局地球物理

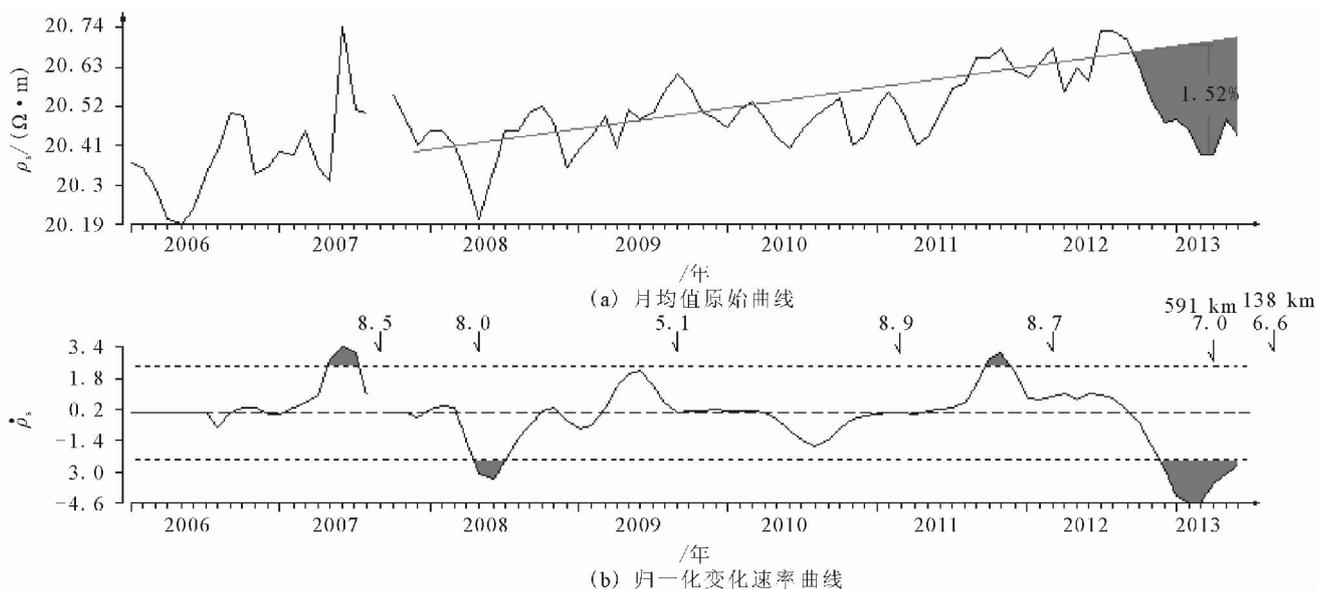


图3 岷县漳县 $M_S 6.6$ 地震前甘肃通渭 $N22^\circ W$ 测道地电阻率月均值曲线及归一化变化速率曲线

Fig. 3 The monthly mean curve of apparent resistivity observed through measuring configuration $N22^\circ W$ at Tongwei station and its NVRM curve before the $M_S 6.6$ Minxian—Zhangxian earthquake

研究所的结果大致吻合;陕西省地震局给出 P—轴方位为 NE 向,震源断层为走滑兼逆冲错动。无论哪个结果,P—轴方位均为 NE 或近于 NE 向。通渭台在震前中期阶段的地电阻率异常表现为 $N20^\circ W$ 下降幅度最大,视电阻率各向异性变化符合文献^[14-15,19]关于地震中期异常各向异性变化与 P—轴方位关系的研究结果。在本次地震前 10 多天开始,通渭台短极距 EW 测道出现上升变化,尽管幅度达不到异常指标但上升形态清晰,其中期下降~短临阶段上升的变化形态符合文献^[15,19]的研究结果。因此,从这个意义上讲,如果通渭台地电阻率观测未出现环境干扰问题,则上述的数据异常表现符合以往的震例研究结果,我们理所当然的把上述异常归因于本次 $M_S 6.6$ 地震前的异常信息。

人们可能会提出异议,通渭台 EW 长极距测道(供电极距 1 100 m)探测深度大,为什么未出现震前短临阶段的上升变化,而 EW 短极距测道(700 m)却出现短临阶段的上升变化?实际上,此类现象在以往的震例中是真实存在的。例如,1984 年宁夏灵武发生 $M_S 5.3$ 地震距离银川地电阻率台 40 km 左右,该台长极距测道并未出现明显的地电阻率异常,但短极距测道却出现了显著的短临异常。此后与当时的观测人员了解,该台当时无任何环境干扰问题,台站观测用 DDC-2A 仪器(指针表头)观测,当观测到短极距测道时指针抖动、读数困难(类似汶川 8 级地震前夕附近江油台的观测情况)。这个原

因可能与长、短极距测道的探测深度不同有关,存在探测目标层介质变化的差异性。

2.2 震后判断

按中国地震局检测预报司于 2012 年 5 月制订的“前兆台网产出规范(试行)”,各前兆台网学科组须在震后 3 天之内提交地震应急产品。中国地震局兰州地震研究所主持全国地电台网技术管理工作,按“前兆台网产出规范(试行)”的要求,同时也是本次地震发生后约 1 小时监测预报司主管前兆台网管理部门的电话通知,全国地电台网技术管理部门于地震发生当日(7 月 22 日)下午完成、并提交了地电台网地震应急简报^⑤。在应急简报中,基于本次地震周围的地电阻率、地电场台网观测数据变化情况提出:在近期内岷县漳县 $M_S 6.6$ 地震原震区可能不会发生大于 $M_S 6.6$ 的地震。实际上,截止目前 1 个多月以来的原震区震情发展的检验,上述应急简报做出的预测意见符合实际震情情况。

在本次地震后,笔者及 10 多次参加甘肃省地震局的应急会商,始终坚持应急简报的预测意见。实际震情发展符合笔者等震后震情发展趋势的预测。

当时,产出应急简报的依据主要是基于以往关于地震地电阻率前兆异常的研究成果^③分析了通渭、天水台地电阻率数据异常(当时认为是前兆异

⑤ 杜学彬,谭大成,刘君,等.地电台网应急简报.甘肃省地震局,2013年7月22日下午。

常)的变化幅度和形态(图 2、图 3)得到的。

3 问题讨论

3.1 存在的问题

甘肃通渭台地电阻率布极区内大约在 1999 年建成、通车高等级公路(带金属护栏),此干扰源已形成长期的固定干扰,在正常情况下对识别地电阻率相对变化影响不大。在岷县漳县 $M_s6.6$ 地震后,针对再次出现的舟曲电磁扰动、天水 013 水位突降等数据异常,甘肃省地震局于 2013 年 8 月 8 日组织了对通渭台地电阻率异常等的现场落实。从落实异常的结果^④看,通渭台自 2012 年 3 月以来观测环境受到影响,形成的主要干扰源是 2012 年 3 月开工的通渭县综合物流园建设施工。从 2012 年 3 月开始施工影响 EW 长/短极距 2 个测道地电阻率观测,2012 年 8 月开始垫土填沟,EW 向短极距测道 W 供电电极深埋在地下 10 m 以上,而长极距测道 W 供电电极一侧被取土后电极位于高约 2 m 的土坎中;N20°W 测道 N 测量极周围开挖、取土使该测量极位于 4~5 m 高的孤立的原土土丘中,N 供电电极附近建设金属构架大棚等。这些施工无疑会对通渭台地电阻率观测或多或少的形成多样化的干扰影响。其次,近年来甘肃东部的地电阻率台站和部分地电场台站以及周边省(市区)地电台站多受到环境干扰的影响。例如,甘肃武都台地电阻率观测场地内成渝铁路施工;兰州台地电阻率观测存在外线路故障,每台 3 个测道中仅有 1 个测道观测数据可用于分析中期、短期异常;宝鸡台布极区内建设西安—宝鸡高铁引起地电阻率大幅度干扰;甘肃临夏台外线路、测量仪器陈旧,新投入的地电阻率观测仪器未按相关规定运行。还有兰州、天水、武都等地电场台站的观测环境影响也很复杂^[21]。

尽管震前提出的震情趋势预测意见和震后在地震应急简报中做出的 $M_s6.6$ 原震区震后趋势判断意见符合实际震情,但通渭台的地电阻率观测结果是被应用的主要依据之一,同时参考了附近包括存在环境干扰的其他台站。因此看来上述震前预测意见和震后趋势判断意见似乎存在一定程度的不确定性,或者说缺乏严谨的科学性。

3.2 问题讨论

通渭台布极区的电测深曲线大致为 KH 型,在大约 $AB/2=100$ m 左右极距测得的视电阻率小于 $20 \Omega \cdot m$ (电测深曲线极小值),为表层以下的下覆中间低阻性结构,观测装置 EW 向长极距测道供电电极

距 $AB=1100$ m,EW 短极距测道 $AB=700$ m,N20°W 测道 $AB=1100$ m,这种大供电极距和上述中间低阻性结构决定了供电电流主要分布在地下深部(中间低阻性地层)^[22],说明通渭台地电阻率观测其探测深度较深,地表干扰影响量有限。在通渭台布极区内综合物流园建设施工无疑对 3 个测道的地电阻率观测造成了一定程度的影响,但如果把通渭台 2012 年的年中(3 个测道中的 EW 长极距测道异常起始时间最早)以来的地电阻率下降变化全部归因于综合物流园的施工影响,则不能解释 EW 向长/短极距 2 个测道的 W 电极周围分别挖土/填埋以及 N20°W 测道 N 测量极周围挖土等造成 3 个测道地电阻率全部下降的观测事实(详见文献^[23])。同时也不能解释 EW 短极距测道在震前 10 多天出现的地电阻率上升变化的现象。另一方面,通渭台距离本次地震的震中仅 138 km,震前数据异常变化的特点基本符合以往关于地震地电阻率前兆异常变化的特点。因此,尽管该台存在环境干扰影响,但震前地电阻率数据异常中仍然包含了用地电阻率相对变化幅度描述的地震前兆异常成分。再次,在形成临近震前、紧接震后两个预测意见时也参考了天水井下地电阻率台站和附近其他地表地电阻率台站的观测结果。所以说,上述震前、震后的两个预测意见有其科学性,不是碰巧、偶然的符合了本次地震的实际震情。但他们只能作为当时震情分析时的参考意见,作为地震预测预报意见显然存在不足,主要原因是作为主要依据的最近距离的通渭台受到环境干扰影响。

本次地震是甘肃省内自 1954 年山丹地震以来最大震级的地震,震中周围地电台站相对密集,是一次积累珍贵的地电前兆震例的机会,但由于震中附近部分台站的观测环境、观测系统运行状况有待改善,震前可靠的数据积累不够充分。例如,通渭台地电阻率观测存在的环境影响问题和震前出现的异常变化充分提示了保障台站观测环境的重要性,临夏、兰州台等部分台站的外线路、测量仪器等长期使用而陈旧未予及时更新也是需尽快解决的问题。据本次地震震中周围的地电台站运行环境和运行情况,本文特别强调指出:地电观测环境是今后该方法可持续发展的瓶颈问题,今后应加大保护地电观测环境的力度,或者加大力度的实施井下(即“深井”)地电阻率观测或者开展远距离避开干扰源的无人值守台站的观测方式。近年来,在我国 8 个地电阻率台站进行了井下地电阻率观测装置的实验,相关的理

论研究工作取得了进展^[8-9,24-25],有可能逐步改善地电观测环境的瓶颈问题。

4 结论

(1) 在甘肃岷县漳县 $M_S 6.6$ 地震前甘东南及邻区的地电阻率台站出现了数据异常,根据数据异常研究了本区震情趋势,分别在地震短临阶段、紧接震后尝试性的提出了两个地震形势预测意见,截止目前为止其预测意见大致符合本次地震主震、余震发生的实际情况。

(2) 评价了上述数据异常的可靠性认为:数据异常中既包括了本次地震前的前兆异常信息也含有台站观测环境变化引起的干扰数据异常,震前、震后的两个震情预测意见有科学意义和启示,但距离震中最近的通渭台观测环境变化在一定程度上影响了两个预测意见可靠性,当时作为预测意见是不够的。

(3) 本次地震周围的地电阻率台站观测环境及运行情况说明在当前观测环境恶化的情况下,加大力度的保护观测环境十分重要,在观测环境恶化不可避免的情况下可以实施井下地电观测或远距离避开干扰源的无人值守的观测方式。

参考文献 (References)

- [1] A Nur. Dilatancy pore fluids and premonitory variations of travel times[M]. B. S. S. A., 1972, 62(5): -.
- [2] C H Scholz, L R Sykes, Y P Aggrawal. Earthquake prediction: A physical basis[J]. Science, 1973, 181(4102): 803-809.
- [3] OM Барсуков, 著. 陈有发, 译. 地震电性前兆的可能原因 [A]//地震地电学译文集[G]. 北京:地震出版社, 1989, 312-318.
Borsukov OM. (Chen Y F trans.). A possible cause of seismic precursor in electrical property[A]//Qian J D, Chen Y F, eds. Translation Collections of Seismic Geoelectrics[G]. Beijing: Seismological Process, 1989, 312-318. (in Chinese)
- [4] 梅世蓉, 冯德益, 张国民, 等. 中国地震预报概论[M]. 北京:地震出版社, 1993, 302-307.
MEI Shi-rong, MENG De-yi, ZHANG Guo-min, et al. An Introduction to Earthquake Prediction in China[J]. Beijing: Seismological Press, 1993, 302-307. (in Chinese)
- [5] 杜学彬, 薛顺章, 郝臻, 等. 地电阻率中短期异常与地震的关系[J]. 地震学报, 2000, 22(4): 368-376.
DU Xue-bin, XUE Shun-zhang, HAO Zhen, et al. On the Relation of Moderate-short Term Anomaly of Earth Resistivity to Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 2000, 13(4): 393-403. (in Chinese)
- [6] 王邦本, 刘永兰, 李验轩. 深井电阻率与地震预报[J]. 地震研究, 1981, 4(1): 398-403.

- WANG Bang-ben, LIU Yong-lan, LI Yan-xuan. The Electric Resistivity in the Boreholes and the Earthquake Prediction[J]. Journal of Seismological Research, 1981, 4(1): 398-403. (in Chinese)
- [7] 刘允秀, 吴国有, 王蕃树, 等. 深埋电极地电阻率观测的实验结果[A]//地震预测——地电方法论文集[G]. 福州:福建科学技术出版社, 1985: 206-216.
LIU Yun-xiu, WU Guo-you, WANG Fan-shu, et al. Test result for buried electrode resistivity observation[A]//Collect Works of Earthquake Prediction—Geoelectrical Methods[G]. Fuzhou: Science and Technology Press of Fujian, 1985: 206-216. (in Chinese)
- [8] 解滔, 杜学彬, 陈军营, 等. 井下地电阻率观测中地表电流干扰影响的计算[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(1): 112-121.
XIE Tao, DU Xue-bin, CHEN Jun-ying, et al. Calculation for the Influence from the Surface Disturbance Current in the Deep-well Geoelectrical Resistivity Observation [J]. Progress in Geophysics, 2012, 27(1): 112-121. (in Chinese, with an English abstract)
- [9] 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.
NIE Yong-an, BA Zheng-ning, NIE Yao. Study on Buried Electrode Resistivity Monitoring System [J]. Acta Seismologica Sinica, 2010, 32(1): 33-40. (in Chinese, with an English abstract)
- [10] 钱复业, 赵玉林, 于谋明, 等. 地震前地电阻率的异常变化 [J]. 中国科学(B辑), 1982, (9): 831-839.
QIAN Fu-ye, ZHAO Yu-lin, YU Mou-ming, et al. Geo-resistivity anomaly before earthquake[J]. Science in China (B), 1982, (9): 831-839. (in Chinese)
- [11] 桂燮泰, 关华平, 戴经安. 唐山、松潘地震前视电阻率短临异常图像重现性[J]. 西北地震学报, 1989, 11(4): 71-75.
GUI Yi-tai, GUAN Hua-ping, DAI Jing-an. The short-term and immediate anomalous pattern recurrences of the apparent resistivity before the Tangshan and Songpan earthquake of 1976 [J]. Northwestern Seismological Journal (in Chinese), 1989, 11(4): 71-75. (in Chinese, with an English abstract)
- [12] 钱家栋, 陈有发, 金安忠. 地电阻率法在地震预报中的应用 [M]. 北京:地震出版社, 1985: 103-107, 187-225.
QIAN Ja-dong, CHEN You-fa, JIN An-zhong. The Geo-resistivity Method Used in Earthquake Prediction (in Chinese)[M]. Beijing: Seismological press, 1985, 103-107, 187-225. (in Chinese)
- [13] 杜学彬, 赵和云, 陈宝智. 地电阻率临震突变与活断层、发震应力场[J]. 地震学报, 1993, 15(3): 303-312.
DU Xue-bn, ZHAO He-yun, CHEN Bao-zhi. On the Relation of the Imminent Sudden Change in Earth Resistivity to the Active and Earthquake-generating Stress Field[J]. Acta Seismologica Sinica, 1993, 6(3): 663-673. (in Chinese)
- [14] 杜学彬, 阎志德, 邹明武. 景泰 6.2 级地震震源动力学过程 [J]. 地震学报, 1994, 16(3): 296-303.
DU Xue-bin, ZHI De-yan, ZOU Ming-wu. Process of

- source dynamics of the Jingtai earthquake ($M=6.2$)[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 1994, 7(3): 379-388. (in Chinese)
- [15] 杜学彬, 马占虎, 叶青, 等. 与强地震有关的视电阻率各向异性变化[J]. *地球物理学进展*, 2006, 21(1): 93-100.
DU Xue-bin, MA Zhan-hu, YE Qing, et al. Anisotropic Changes in Apparent Resistivity Associated with Strong Earthquake [J]. *Progress in Geophysics*, 2006, 21(1): 93-100. (in Chinese, with an English abstract)
- [16] 叶青, 杜学彬, 陈军营, 等. 2003 年大姚和民乐—山丹地震 1 年尺度预测[J]. *地震研究*, 2005, 28(3): 226-230.
YE Qing, DU Xue-bin, CHEN Jun-ying, et al. One Year Prediction for the Dayao and Minle—shandan Earthquakes in 2003[J]. *Journal of Seismological Research*. 2005, 28(3): 226-230. (in Chinese, with an English abstract)
- [17] [http://politics. people. com. cn/n/2013/0724/c70731 - 22312220. html](http://politics.people.com.cn/n/2013/0724/c70731-22312220.html)[J]. *Science*, 1973, 180: 632-641.
- [18] 杜学彬, 阮爱国, 范世宏, 等. 强震近震中区地电阻率变化速率的各向异性[J]. *地震学报*, 2001, 23(3): 289-297.
DU Xue-bin, RUAN Ai-guo, FAN Shi-hong, et al. Anisotropy of the Vartation Rate of Apparent Resistivity Near the Epicentral Region of Strong Earthquakes [J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2001, 14(3): 303-314. (in Chinese)
- [19] 杜学彬, 李宁, 叶青, 等. 强地震附近视电阻率各向异性变化的原因[J]. *地球物理学报*, 2007, 50(6): 1802-1810.
DU Xue-bin, LI Ning, YE Qing, et al. A Possible Reason for the Anisotropic Changes in Apparent Resistivity near the Focal Region of Strong Earthquake[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2007, 50(6): 1555-1655.
- [20] 杜学彬, 任广军, 薛顺章. 中国大陆多种前兆异常研究及强震的尝试性预测[J]. *西北地震学报*. 1999, 21(2): 113-122.
DU Xue-bin, REN Guang-jun, XUE Shun-zhang. Study on Many Kinds of Precursory Anomalies and Trial Prediction of Strong Earthquakes in the Continent of China[J]. *Northwestern Seismological Journal*, 1999, 21(2): 113-122. (in Chinese with an English abstract)
- [21] 范莹莹, 杜学彬, 谭大诚, 等. 甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前甘肃平凉台地电场异常[J]. *地震工程学报*, 2013, ?(?): -
FAN Ying-ying, DU Xue-bin, TAN Da-cheng, et al. The Variation of Geoelectrical Field for Pingliang station in Gansu Province before the $M_s6.6$ Minxian—zhangxian Earthquake [J](in Chinese, with an English abstract). *China Earthquake Engineering Joutnal*, 2013, ?? (in Chinese) [J]. *BSSA*, 1975, 65(2):425-437.
- [22] 杜学彬, 叶青, 马占虎, 等. 强地震附近电阻率对称四极观测的探测深度[J]. *地球物理学报*, 2008, 51(6): 1943-1949.
DU Xue-bin, YE Qing, MA Zhan-hu, et al. The Detection Depth of Symmetric Four-electrode Resistivity Observation in/near the Epicentral Region of Strong Earthquakes. *Chinese Journal of Geophysics*, 2008, 51(6): 1220-1228. (in Chinese)
- [23] 刘君, 杜学彬, 范莹莹, 等. 甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前的地电阻率变化[J]. *地震工程学报*, 2013, ?(?): -
LIU Jun, DU Xue-bin, FAN Ying-ying, et al. The Geo-electrical Resistivity Anomaly before the $M_s6.6$ Minxian—Zhangxian Earthquake in Gansu (in Chinese, with an English abstract)[J]. *China Earthquake Engineering Joutnal*, 2013, ?(?): -(in Chinese)
- [24] 解滔, 杜学彬, 郑国磊, 等. 水平两层均匀介质中井下电阻率观测信噪比的理论计算[J]. *西北地震学报*. 2012, 34(1): 18-22.
XIE Tao, DU Xue-bin, ZHENG Guo-lei, et al. Theoretical Calculation for the Signal Noise Ratio of the Underground Electric Resistivity Observation in the Two-layered Horizontal Homogeneous Medium[J]. (in Chinese), *Northwestern Seismological Journal*, 2012, 34(1): 18-22. (in Chinese)
- [25] 康云生, 安海静, 马可兴, 等. 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.
KANG Yun-sheng, AN Hai-jing, MA Ke-xing, et al. Test analysis on Geoelectrical resistivity observation combining the surface and deep-well methods at Tianshui seismic station in Gansu province[J]. *China Earthquake Engineering Journal*, 2013, 35(1): 190-195. (in Chinese)