

严玲琴、郑卫平、张辉等, 2013, 临夏台地电阻率变化与震兆现象分析, 中国地震, 29(1), 168 ~ 176。

临夏台地电阻率变化与震兆现象分析

严玲琴 郑卫平 张辉 张昱

甘肃省地震局, 兰州市东岗西路 450 号 730000

摘要 以甘肃省临夏台 1981 年以来的地电阻率资料为基础, 利用数理统计和相关分析方法, 分析该台地电阻率的变化特征, 探讨 EW 和 NS 两测向之间数据的相关性, 以及与大夏河流量变化的对应关系, 认为该台两测向数据间具有很高的相关性, 可能与区域地下介质具有较均匀的电性结构有关; 分析了该区降水和地下静水位对地电阻率的影响, 认为地下静水位的影响更显著。此外, 探讨了临夏台地电阻率资料作为地震前兆的意义, 认为该台资料对甘东南及甘青交界地区的中强地震反应敏感, 以下降型破年变异常为主, 呈现出震级越大, 异常持续时间越长的特点。该台资料同时对甘青地区成组中强地震有所反应, 显示出异常持续时间长、幅度大和恢复慢的特点。

关键词: 临夏台地电阻率 年周期变化 前兆异常 成组地震

[文章编号] 1001-4683(2013)01-0168-09

[中图分类号] P315

[文献标识码] A

0 引言

定点地电阻率观测作为一种主动源观测方法, 来源于物探中的直流电法, 但又区别于物探电法观测所强调的电阻率随空间的变化, 即地下不同位置的视电阻率差异; 而地震台站进行的地电阻率观测是同一地点地下固定体积内电阻率随时间的变化, 即“位置不变”的视电阻率变化。

我国自 1966 年邢台 7.2 级大地震之后, 开始了地电方法预测地震的试验与研究, 在 40 余年的地震监测预测工作中, 积累了丰富的观测资料。大量实践和研究表明, 在我国大陆发生的多数中强地震前都监测到了明显的地电阻率前兆异常变化, 特别是 7 级以上强震; 震前地电阻率异常多以下降型的负异常为主, 且 90% 的地震是发生在地电阻率出现异常性转折和回升后的时段内(钱复业等, 1982; 钱家栋, 1993; 王志贤等, 1996; 汪志亮等, 2002)。此外, 大量的震例研究和岩石物理实验结果也表明, 岩石破裂过程中地电阻率经历了“下降-转平-震后恢复”的过程(陈大元等, 1992; 陆阳泉等, 1990, 1998; 王志贤等, 1994; 张洪魁等, 1996)。这些研究为利用地电观测数据进行地震预测提供了可能, 但也使我们清醒地认识到前兆异常“时-空-强”演化的复杂性和多样性, 即使同一地区发生的地震, 地电阻率的前兆异常变化也会存在差异。

[收稿日期] 2012-09-14; [修定日期] 2012-12-04

[项目类别] 中国地震局兰州地震研究所地震科技发展基金(2012Q03)、中国地震局震情跟踪合同制任务(2012020403)共同资助

[作者简介] 严玲琴, 女, 1983 年生, 实习研究员, 主要从事地震电磁学研究。E-mail: angel.ylq@163.com

目前的定点地电阻率观测, 探测深度较浅, 观测到的主要为地壳近地表浅层介质的电性结构变化, 而这个层位易受降水、地下水位和温度等季节性因素的影响(刘允秀等, 1999; 解用明等, 2005; 杜学彬等, 2008)。因此, 地电阻率观测资料往往表现出规则完整的年变形态。目前只有少数台站进行井下观测, 观测数据未显示规律性的年变形态, 地电阻率 ρ_s 只在某一数值附近呈波动变化。

甘东南地区(32.5°~36.5°N、102°~107°E)地处青藏高原东北缘, 是地壳厚度的陡变带和重力变化的梯度带, 地质构造复杂。区内多组活动断裂发育, 地震活动频繁, 历史上曾发生过多次中强地震。汶川 8.0 级地震的发生, 使得本区可能已处于构造活化的时段, 其未来的地震危险性备受关注。

临夏台作为甘东南地区地电观测网中监测效能较好的地电阻率测点, 其所处构造位置特殊、观测时间长且测量极距大。因此, 本文以甘肃省临夏台地电阻率多年资料为基础, 在分析临夏台地电阻率年周期变化的基础上, 研究了降水和地下水位对该台地电阻率的影响, 探讨了甘肃省及邻近地区几次中强地震与该台地电阻率变化的对应关系。

1 临夏台地电阻率观测概况

临夏台始建于 1970 年, 为省级台, 是目前甘肃省内唯一使用 DDC-2A 电子自动补偿仪进行观测的台站。观测线路采用被覆线、裸线架空。2004 年进行了台站改造, 目前仍有部分外线路为裸线。作为甘东南地区的重要台站, 该台地处临夏折桥乡, 海拔 1830m, 位于鄂尔多斯、阿拉善和青藏块体的交接部位, 次级构造上位于祁连山和甘东南次级地块的交接部位, 构造位置特殊(图 1)。

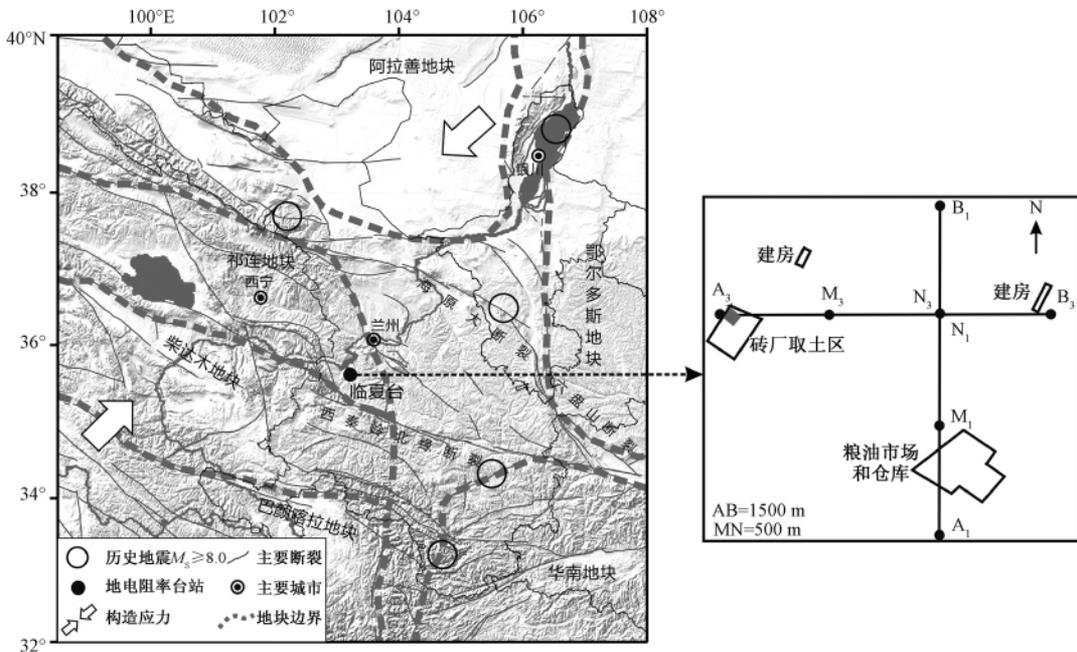


图 1 临夏地电阻率测点地质构造及布极示意图
 断裂分布和活动地块划分引自邓起东等(1994)、张培震等(2003)

贯穿临夏地区的大夏河,是黄河上游重要的一级支流,降水和雪山融水是主要补给源(李小荣,2010;王汉卿,2011)。台站距大夏河约2km,测区地处大夏河的漫滩阶地,多为第四系所掩盖,下伏粘土岩和花岗岩。地电阻率观测布设有EW和NS两测向(图1),电测深曲线表现为A型基础上的KH型,表层为低阻覆盖层,勘探深度内地电阻率高达 $300\Omega\cdot\text{m}$ (甘肃省地震局,2003)。

由于临夏台是大极距观测(供电极距 $AB=1500\text{m}$,测量极距 $MN=500\text{m}$),所以布极区内存在农田、树林、民居等潜在干扰源。但多年来测区环境无显著变化,因而观测资料受外界因素影响较小。2008年之后,测值在一定程度上受到测区环境变化的影响。主要干扰为测区内农民建房增多,南测与南供(A_1M_1)之间的临夏市粮油批发市场和仓库陆续开工和西供(A_3)附近的砖厂挖坑取土(图1)。

2 临夏台地电阻率变化

地电阻率年周期变化作为预测无震活动的重要指标(金安忠,1981;钱复业等,1987),是指在地震监测能力范围内无地震活动期间测值的年变化形态(陈有发等,1998)。加强规则年变化形态特征的认识,能更好的识别异常变化。

临夏地电阻率台自1981年以来近32年的资料中,日均值观测数据仅存在14次缺数,资料的连续性和完整性较好。EW和NS测向1981年以来各年度日均值数据的相关性分析结果显示,相关系数达到0.8以上的占67%,最高可达0.98,相关性高(图2)。考虑到测区地处地质构造和地球物理特性复杂的青藏高原东北缘,这个结果在一定程度上也间接表明测区地下介质电性结构较均匀。两测向数据的年变化幅度较大,达3%(图3)。

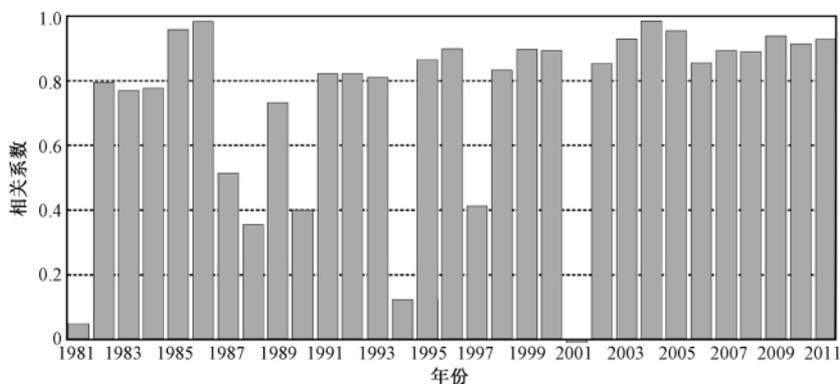


图2 1981~2011年临夏地电阻率EW和NS两测向数据的相关性分析

通过统计1981年以来观测数据极值分布月份的累计频次可见(图4(a)),EW和NS两测向数据的年变周期性显著,且具有相近的结果。为了更深入地分析该台资料的年周期变化,本文采用滑动傅里叶分析方法,利用年变形态完整的年份估算出年周期变化(图4(a))。结果显示:整体呈现冬高夏低的特征,幅度达3.7%;极大值多数出现在1~2月,极小值大多出现在8~10月,与附近大夏河的年流量变化(图4(b))有一定的对应性(李正南等,1997)。大夏河折桥乡水文站资料显示:12月、1~3月为枯水期;6~10月为丰水期,其

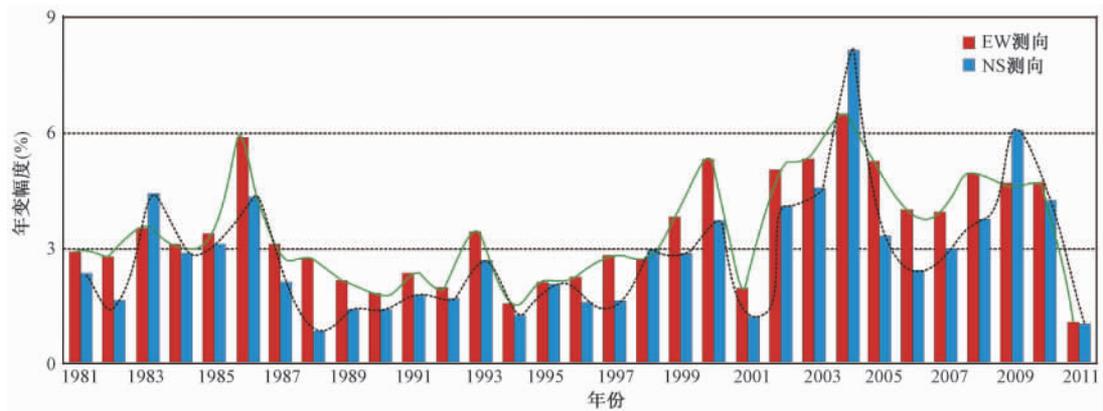


图3 1981~2011年临夏台地电阻率EW和NS测向数据的年变幅度柱状图
图中绿色、黑色的曲线分别为EW和NS测向数据年变幅度的拟合曲线

流量占年流量的70%以上(张荣,2009)。

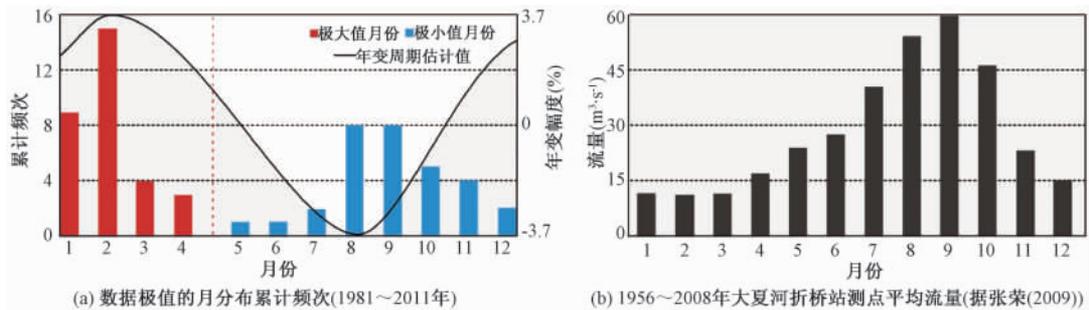


图4 临夏地电阻率年周期变化和大夏河流量变化

由于利用地电阻率观测的是一定体积内岩层电性结构随时间的变化,而区域内表层电性可能受测区内环境、气象和水文条件变化的影响,因此本文分析了降水和地下水位对临夏地电阻率的影响。临夏台2007年9月增设了降水和地下静水位观测,2008年以来的资料完整连续。钻探资料显示:该台静水位观测为承压水观测(仪器探头下放深度约200m)。已有研究表明,承压水埋藏较深,受外界气候的直接影响较小,流量变化相对稳定(金光炎,2009)。

利用2008年以来的地电阻率、降水量和地下静水位资料做相关性分析(表1),结果显示,地电阻率与静水位的相关系数要高于与降水的相关系数,而2011年静水位的影响明显低于其他年份,这与当年两次DDC-2A仪器故障破坏了数据连续性有关;静水位和降水量之间的相关性较差,该结果表明,降水经流域下垫面缓慢下渗到地下含水层,又流出补给河流,在这个循环补给系统中,降水相对静水位是个独立的因素,并且滞后效应明显。此外,2008年之后大夏河的流量逐年下降(王汉卿,2011),同期临夏台静水位变化也逐年下降,临夏台地电阻率2008年之后在一定程度上受到测区环境变化的影响,但2009年底之后明显呈现出转折上升的趋势。综上所述,对于临夏台地电阻率年周期变化而言,地下静水位的动态变

化是其主要影响因素。

表 1 2008 年以来临夏台地电阻率与降水量、静水位的相关系数

年份	测向	相关系数		
		电阻率与降水量	电阻率与地下静水位	静水位和降水量
2008	EW	0.015	-0.603	0.070
2009	EW	-0.074	-0.707	0.035
2010	EW	-0.205	-0.542	-0.033
2011	EW	-0.202	-0.348	0.139
2008	NS	-0.023	-0.447	0.070
2009	NS	-0.007	-0.738	0.035
2010	NS	-0.187	-0.503	-0.033
2011	NS	-0.162	-0.136	0.139

3 地电阻率的前兆意义

自 1981 年至今临夏台地电阻率已连续观测了 30 余年。在此期间,距台站 550km 范围内发生 $M_s 5.0$ 以上地震 ($\Delta \leq 550\text{km}$ 、 $M_s \geq 5.0$) 32 次。在总结前人震例(孙景芳等,1998;燕明芝等,2002,2006)基础上,尽可能剔除明确干扰后,对临夏台地电阻率数据进行了重新分析,结果表明,临夏台地电阻率在甘东南和甘青交界地区多次中强地震前有明显异常(表 2)。该台 EW 和 NS 两测向正常的年变幅度可达 3%,而异常变化则表现为年变幅度减小甚至消失,是典型的下降型破年变异常;且两测向都出现变化,只是在异常持续时间上有所区别。异常幅度多大于 1.5%,震前异常时间从 4~11 个月不等,且震级越大,异常持续的时间越长。

表 2 临夏地电阻率映震情况

发震时间 (年-月-日)	震中位置	震级 M_s	震中距 (km)	异常持续时间(月)	最大异常幅度(%)
1986-08-26	青海门源	6.4	280	11	3.2
1990-10-02	甘肃天祝-景泰	6.1	169	4	1.5
1991-10-01	青海门源	5.2	293	4	1.2
2000-09-12	青海兴海	6.6	361	2000~2002 年间年变幅度变小, 几乎消失,持续低值变化	
2001-07-11	甘肃肃南	5.3	612		
2001-11-14	昆仑山口西	8.1	1115		
2003-11-13	甘肃岷县	5.2	119	7	1.4
2008-03-30	甘肃肃南	5.0	287	5	1.8

本文主要探讨 2000 年兴海 $M_s 6.6$ 、2001 年肃南 $M_s 5.3$ 及 2001 年昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震期间临夏台地电阻率年变幅度变小的异常变化。

大陆地震往往具有成组活动的特征,即地震的发生在时间和空间上具有相对集中的特点(张国民等,1995)。大量观测事实也指出,地电阻率的异常变化与成组地震的发生有一定的对应性,这种现象在地电阻率台站密集的华北地区尤为显著。在 1976 年唐山地震、1989 年大同地震和 1998 年张北成组地震发生时就有多个台站记录到长时间的地电阻率异

常,并且异常的时空变化对成组强震活动的迁移有一定的指示意义。这种异常多呈现出比单个地震更为复杂的形态特征,异常往往持续到成组地震中最后一个强震发生后才结束(王志贤等,1996;汪志亮等,2000,2002;张学民等,2003)。总体表现为趋势变化背景下的反复升降,呈现出异常持续时间长、幅度大和恢复慢的特点(表3)。

表3 成组地震前地电阻率异常台站及变化情况

台站	异常总时间 T (月)	异常总幅度 A (%)	5级以上主要 地震次数	7级以上 强震次数	主要地震事件
雅安	41	8.4	5	2	1973年炉霍 $M_S7.6$ 、1974年龙陵 $M_S7.1$
米易	60	4.4	4	3	1973年炉霍 $M_S7.6$ 、1974年大关 $M_S7.1$ 、 1976年龙陵 $M_S7.4$
康定	18	4.7	3	2	1976年龙陵 $M_S7.4$ 、1976年松潘 $M_S7.2$
宝坻	60	3.9	6	2	1975年海城 $M_S7.3$ 、1976年唐山 $M_S7.8$
大柏舍	84	6.2	9	2	1976年唐山 $M_S7.8$ 、1976年滦县 $M_S7.1$
楚雄	23	4.2	2	0	1981年普洱 $M_S6.0$ 、1982年洱源 $M_S5.2$
大同	24	2.5	5	0	1989年大同 $M_S5.9$ 、1991年大同 $M_S5.8$
临汾	30	3.5	5	0	1989年大同 $M_S5.9$ 、1991年大同 $M_S5.8$
通渭	20	2.2	2	1	1990年共和 $M_S7.0$ 、1990年景泰 $M_S6.2$
武都	26	1.3	2	1	1990年共和 $M_S7.0$ 、1990年景泰 $M_S6.2$
阳原	27	1.0	3	0	1999年张北 $M_S6.2$ 、1999年大同 $M_S5.7$
临夏*	30	3.5	4	1	2000年兴海 $M_S6.6$ 、2001年昆仑山 $M_S8.1$

注:除临夏台外,其余变化情况均据王志贤等(1996)、汪志亮等(2000、2002)、张学民等(2003)

为了突出异常变化过程,对原始数据进行了去除单点大值突跳(相对变化 $\geq 2\%$ 的数据)、插值补数和 db4 小波去噪的预处理,结果较好地保留了数据的有效信息。临夏台资料在 1997~1999 年间具有较规则的年周期变化,2000 年 6 月之后 EW 和 NS 测向测值年变幅度不同程度地减小,持续近 2 年。该时段内 NS 测向的异常变化幅度和持续时间较 EW 测向更为显著,其间除雨季(6~9 月)造成的周期性影响外,无显著的干扰记载(图 5(a))。2003 年之后,测值恢复了较为正常的年周期变化。

为更好地确定临夏台地电阻率震兆异常的信度,搜集了美国国家环境预报中心 CMAP 候降水量资料,提取了台站附近 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 格点范围内 1997~2003 年间的月平均降水数据(图 5(b))。结果显示,2000~2002 年间降水量较往年有减少的趋势,且雨季降水量也较少。因此,可以排除该时段内降水影响的可能性。初步认为临夏台地电阻率 2000 年后的异常变化与表 3 中其它台站的变化存在一定的对应性,也呈现出异常持续时间长、幅度大和恢复慢的特点。因此,本文认为该时段测值长时间的异常变化与这组中强地震活动密切相关,对中强地震具有前兆意义。

4 结论

本文以临夏台 1981 年以来的地电阻率资料为基础,在分析该台地电阻率年变化特征和降水、地下水位对其影响的基础上,探讨了地电阻率在震前的异常变化与台站周边中强地震的对应关系。结果表明:

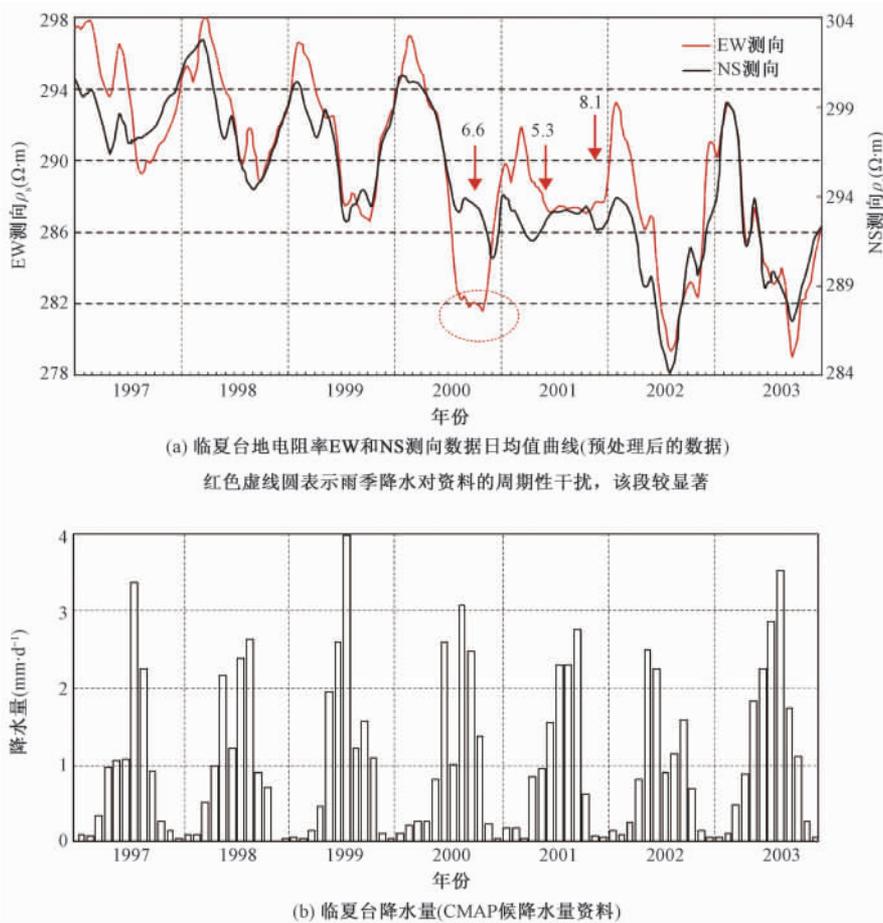


图5 1997~2003年临夏台地电阻率和降水量资料

(1) 临夏台 EW 和 NS 两测向多年观测数据具有很高的相关性, 间接表明测区地下介质电性结构较均匀。

(2) 该台地电阻率的年周期变化主要来自于表层介质电性结构变化的影响, 降水和地下静水位变化是主要影响因素, 其中静水位的影响占主导作用。

(3) 由于该台特殊的构造位置和大极距观测的特点, 测得的电阻率数据对甘东南及甘青交界区的多次中强地震反应敏感, 地电阻率作为地震前兆, 其异常以下降型破年变异常为主; 并在 2000 年甘青地区成组中强地震前显示出异常持续时间长、幅度大和恢复慢的特点。

由于地震前兆异常演化的复杂性和多样性, 分析过程中主观性在所难免。只有深入分析测区环境变化和外界因素的影响, 剔除干扰, 才能提高地电阻率异常作为地震前兆的信度。本文由于测点降水、静水位等辅测资料的不完整, 在震兆异常的分析方面还有待进一步深入。

致谢: 感谢中国地震局地震预测研究所邵志刚博士、中国地震台网中心晏锐、闫伟对本项工作提供的帮助, 感谢中国地震局地壳应力研究所孙小龙提供的 CMAP 数据提取程序, 感谢审稿专家对本文提出的宝

贵建议。

参考文献

- 陈大元、许东俊、陆阳泉等, 1992, 岩石变形特征及物理特性的现场试验研究, 地震学报, **14** (3), 356 ~ 362。
- 陈有发、陆阳泉、薛顺章等, 1998, 地震地电学某些发展的回顾, 见: 石特临, 地震地电学发展与展望文集, 1 ~ 8, 兰州: 兰州大学出版社。
- 邓起东、徐锡伟、于贵华, 1994, 中国大陆活动断裂的分区特征及其成因, 见: 中国地震学会地震地质专业委员会, 中国活动断层研究, 1 ~ 14, 北京: 地震出版社。
- 杜学彬、叶青、马占虎等, 2008, 强地震附近电阻率对称四极观测的探测深度, 地球物理学报, **51** (6), 1943 ~ 1949。
- 甘肃省地震局, 2003, 甘肃省地震监测志, 79 ~ 82, 兰州: 兰州大学出版社。
- 金安忠, 1981, 地电阻率正常变化的初步研究, 地球物理学报, **24** (1), 92 ~ 106。
- 金光炎, 2009, 地下水文学初步与地下水资源评价, 5 ~ 30, 南京: 东南大学出版社。
- 李小荣, 2010, 大夏河流域水文特征分析, 甘肃水利水电技术, **46** (7), 17 ~ 18, 53。
- 李正南、赵玉林、张德信, 1997, 最佳地电台台址条件与环境条件的讨论, 地震, **17** (1), 80 ~ 88。
- 刘允秀、陈华静、程瑞年等, 1999, 地电阻率与地下水位、大气降水关系研究, 中国地震, **15** (2), 184 ~ 189。
- 陆阳泉、梁子斌, 1998, 岩石电学性质的实验研究概述, 见: 石特临, 地震地电学发展与展望文集, 32 ~ 34, 兰州: 兰州大学出版社。
- 陆阳泉、钱家栋、刘建毅, 1990, 大型花岗岩标本缓慢破裂过程中电阻率和声发射前兆特征的实验研究, 西北地震学报, **12** (2), 45 ~ 49。
- 钱复业、赵玉林、许同春, 1987, 地电阻率季节干扰变化分析, 地震学报, **9** (3), 289 ~ 302。
- 钱复业、赵玉林、于谋明等, 1982, 地震前地电阻率的异常变化, 中国科学 (B 辑), (9), 831 ~ 839。
- 钱家栋, 1993, 与大震孕育过程有关的地电阻率变化研究, 中国地震, **9** (4), 341 ~ 350。
- 孙景芳、毛可、薛顺章, 1998, 甘肃省 5 级以上地震地电阻率异常特征及地电台网预报效能的评价, 见: 石特临, 地震地电学发展与展望文集, 83 ~ 88, 兰州: 兰州大学出版社。
- 汪志亮、王志贤、余素荣等, 2000, 地电前兆场特征及有关地震预报问题探讨, 地震, **20** (1), 147 ~ 153。
- 汪志亮、郑大林、余素荣, 2002, 地震地电阻率前兆异常现象, 3 ~ 47, 北京: 地震出版社。
- 王汉卿, 2011, 大夏河流域地表水资源演变趋势及预测分析, 甘肃农业, (12), 12 ~ 14。
- 王志贤、彭远黔, 1996, 地震地电阻率法的统计预报研究, 山西地震, (2), 34 ~ 39。
- 王志贤、彭远黔、王丽, 1994, 地电阻率短临前兆异常的判定方法研究, 地震, (1), 88 ~ 96。
- 王志贤、彭远黔、张学民, 1996, 地电阻率异常变化与地震成组活动关系的研究, 华北地震科学, **14** (1), 19 ~ 26。
- 解用明、乔子云、张跃刚等, 2005, 降雨与电阻率的变化, 山西地震, (3), 17 ~ 19。
- 燕明芝、徐辉、白亚平等, 2002, 甘肃地区地电阻率前兆异常信息的映震效果, 地震地磁观测与研究, **23** (5), 14 ~ 23。
- 燕明芝、杨立民、白亚平等, 2006, 青藏块体东北缘前兆场动态演化过程的探讨, 地震研究, **29** (4), 427 ~ 432。
- 张国民、耿鲁民、张永仙等, 1995, 构造块体的成组孕震模型和前兆场某些特征的分析, 地震学报, **17** (1), 1 ~ 10。
- 张洪魁、沈启兴、吴卫等, 1996, 地震的地电阻率动态预报方法探索, 地震学报, **18** (3), 340 ~ 345。
- 张培震、邓起东、张国民等, 2003, 中国大陆的强震活动与活动地块, 中国科学 (D 辑), **33** (增刊), 12 ~ 20。
- 张荣, 2009, 大夏河流域水文与环境特征分析, 甘肃农业, (11), 61 ~ 63。
- 张学民、刘素英, 2003, 华北地区成组地震前后的地电阻率异常特征, 华北地震科学, **21** (4), 10 ~ 18。

Analysis on the variation of the earth resistivity and seismic precursory phenomena at Linxia seismic station, Gansu

Yan Lingqin Zheng Weiping Zhang Hui Zhang Yu

Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China

Abstract The paper studies the observational data of earth resistivity in Linxia seismic station, Gansu, since 1981. To discuss the corresponding relation between the two direction findings, EW and NS, and the flow rate change of Daxia River, the variation characteristics of earth resistivity were analyzed by using mathematical statistics and correlation analysis methods. It can be concluded that there was a high correlation at the two direction findings, which was probably related to the electricity structure of underground media. In addition, analyzing the impact of precipitation and the static water level, we found that the influence of static level is remarkable. Besides, the data of earth resistivity is sensitive to the moderately strong earthquakes which occurred in the southwest of Gansu and the junction of Gansu and Qinghai. The abnormal annual descend is the main precursory anomaly information, which showed that there is a greater magnitude with a longer duration of abnormality. The anomalous change of the earth resistivity is remarkable in the moderately strong earthquake group of Gansu and Qinghai regions, indicating that the duration of abnormal was long, the amplitude of variation was large and the recovering time was slow.

Key words: Data of earth resistivity in Linxia seismic station Annual variation
Precursory anomaly information Earthquakes in groups