

2003年民乐—山丹地震前山丹地电中短期 —短期前兆变化和无临震显示问题

杜学彬^{1,2}, 叶青²

(1. 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

2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 山丹地电阻率台站距离2003年甘肃民乐—山丹 $M_s6.1$ 地震震中仅43 km, 在震前1年尺度—短期阶段前兆性变化突出, 属于在强地震孕震晚期阶段震源区及附近的典型前兆性变化。应用“异常—震源地点—活动断层—发震机制”之间的特定关系, 分析震前山丹地电未检测到明显临震信息的原因, 可能是由本次地震的发震应力场分布和山丹地电相对于本次地震的位置决定的。

关键词: 民乐—山丹地震; 山丹地电; 前兆性变化; 临震

中图分类号: P315.72⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2004)04-0334-05

0 引言

2002年11月份笔者向中国地震局提交的《2002年度全国地电异常分析及1年尺度地震趋势预测》报告^①中, 提出今后1年尺度甘肃天祝—青海门源以西可能发生 M_s6 左右的地震, 危险区最大长半轴不超过100 km, 短半轴不超过50 km。之后2003年10月25日甘肃民乐—山丹 $M_s6.1$ 地震就发生在该预测危险区内, 7分钟后几乎在原地又发生一次 $M_s5.8$ 地震。从1年尺度预测来看, 两次地震的三要素预测是准确的(图1)。从震后分析山丹地电的震前视电阻率变化看, 8月份已开始显示短期上升异常, 如果当时有条件及时跟踪8-9月份的加速上升变化, 再结合1年尺度预测危险区, 有可能实现3个月以内的三要素短期预报。但山丹地电距离本组地震仅43 km, 临震阶段却未显示突出信息, 对这样近距离的强震无临震显示, 部分专家和分析预报人员提出了疑问。

本文首先介绍本组地震前山丹地电1年尺度~短期阶段的地电阻率前兆性变化, 这种典型变化对今后在强地震孕育晚期阶段判别映震异常以及确定地震发生的具体地点有重要意义。本文另一项内容是分析山丹地电在本组地震前未显示突出临震信息的原因, 或许对研究地震短临异常空间分布的复杂性、认识其规律性有启示意义。

1 山丹台基本情况

山丹地电台为国家级台站, 地质构造上位于河西走廊龙首山断裂带南缘 NWW 向活动断层南侧。瞭高山山前逆冲断层穿过测区西南。据马瑾等^[1]和杜学彬等^[2-5]的研究, 在这类特殊构造部位的台站是前兆显示的优先部位。测区覆盖层主要为全新统, 几米~十几米厚, 下覆地层至1 000 m左右电阻率在60 Ωm 以下。因地表干旱, 有利于电流向表层以下深部分布。布极区内植被、农田、居民少, 无引起持续性干扰变化的干扰源。但存在随机干扰, 主要是距离布极区约3 km远的矿山电机和大风, 干扰强度约2~3 mV, 该台人工电位差 ΔV 大约17.8 mV, 所以随机干扰强度已经不低, 反映在地电阻率观测数据中是小时

收稿日期 2004-03-26

基金项目: 中国地震局地震联合基金项目资助(102058); 中国地震局地震预测研究所兰州基地科技论文编号 J.C20040057

作者简介: 杜学彬(1956-), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区沙湾人, 研究员, 现主要从事地震电磁现象研究。

① 甘肃省地震. 2003年度甘肃省震情趋势研究报告及全国地电学科震情研究报告. 2002

观测值和日值间断性突跳。

该台采用四极对称观测装置, 布设 SN、EW 和 $N45^{\circ}W$ 三个测向, 供电极距 $\overline{AB} = 1\ 000\ m$, 使用 ZD-8 动观测仪器和铅电极。在 2003 年 12 月份全国地电台网技术管理组对 2003 年度 1-3 季度该台观测资料质量评比时, 注意到该台观测仪器存在系统性偏大的误差, 在使用量程 $5\ mV$ 以上的读数偏差 $\varepsilon \leq 3\%$ 。这种误差会导致观测数据整体偏大。经过对 1997 年以来的观测数据进行考察, 发现这一系统性测值偏大是从 2001 年 7 月份标定观测仪器后开始, 月均值偏大不到测值的 4% 。因为系统偏差起始时间是 2001 年 7 月, 数据整体偏大, 并且幅度不大, 不影响应用归一化月速率方法处理本组地震前该台的观测数据, 但 2001 年下半年的上升变化最好不牵强对应地震。

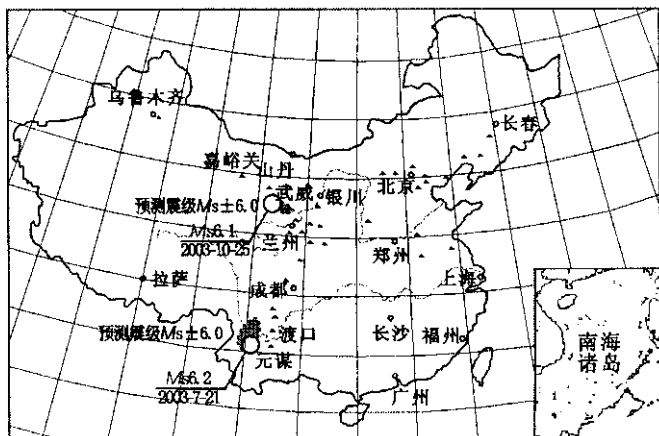


图 1 2002 年度地电异常台站分布和 2003 年地震预测示意图

Fig. 1 Distribution of anomaly stations in China in 2002 and earthquake prediction areas in 2003.

2 民乐—山丹地震前山丹地电的典型前兆性变化

2.1 中短期~短期地电阻率变化的过程

据郭增建等估计震源体尺度的公式^[6]: $M_s = 3.3 + 2.1 \log L$, 6.1 级地震震源体半径约 22 km, 山丹地电距离民乐—山丹 6.1、5.8 级地震仅 43 km, 可以认为是近震中区观测。一般来说, 地震中短期前兆性变化强度弱, 从原始地电阻率月均值曲线或排除年变化曲线上很难识别前兆性变化。本文应用归一化月速率方法^[7]处理本次地震前山丹地电阻率数据, 其结果示于图 2(因观测系统问题, 8.1 级地震前的上升异常不可靠)。由图 2, EW 测道和 $N45^{\circ}W$ 测道在震前先经历 1 年尺度的下降, 在震前短期阶段快速上升。这个变化过程与 DD 模式预言的震源区在孕震扩容阶段—地震发生的过程中介质电阻率表现为“略为上升—下降—回升”的变化过程吻合。陆阳泉等给出了米级尺度含水花岗岩加载—破裂过程中视电阻率变化^[8], 杜学彬等应用归一化变化速率方法处理了这个实验结果^[7]。处理的实验曲线上, 微破裂前下降—主破裂前大幅度下降—主破裂后上升过程十分清晰。山丹地电 EW、 $N45^{\circ}W$ 测道在本次地震前地电阻率 1 年尺度下降—震前短期阶段快速上升的变化与处理的实验曲线上微破裂前—主破裂后视电阻率变化相当吻合。由于实际观测与震源有一定距离, 与实验结果还是有差异, 表现在实际震例是震前短期阶段的回升, 而实验结果是主破裂后的回升(强地震近距离地电观测出现的此类短期回升比较多)。

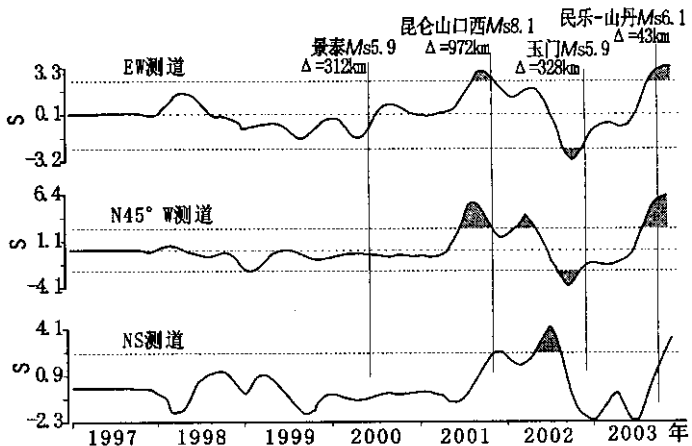


图 2 山丹台地电阻率归一化月速率曲线

Fig. 2 Normalized monthly variation rate curves of earth-resistivity at Shandan station.

在山丹地电 EW、 $N45^{\circ}W$ 测道 2002 年底下降变化期间, 在距离 328 km 的甘肃玉门发生了 $M_s 5.9$ 地震, 但此下降变化不归于玉门地震。有 3 个依据 (1) 一般来说 6~6.9 级地震大约几十公里范围内地电阻率 1 年尺度

异常为下降性^[9]。该台的下降变化符合这一结果。(2)在同一活动断裂带上对应地震的异常可达数百公里^[10]。山丹地电距离玉门地震 328 km,不在同一活动断裂带上。此外 2000 年景泰 5.9 级地震距离山丹台 312 km,也未显示中短期异常(图 2)。(3)从山丹地电 EW、N45°W 测道震前 1 年尺度下降—震前短期阶段快速上升过程与实验结果吻合,与 DD 模式预言的震源区在扩容阶段—地震发生的过程中岩石电阻率的变化过程基本一致。

山丹地电在本组地震前具备强地震、近距离两个显示前兆性变化的条件,再结合上述分析,可以确认山丹地电两个测道显示的中短期—短期异常变化与本次(组)强地震孕震过程有直接关系,是典型的前兆性变化。类似山丹地电 EW、N45°W 测道的 1 年尺度下降—短期阶段快速上升变化今后可作为预测预报近距离强地震发生地点、估计震级的短期预报的标准之一。

2.2 视电阻率变化各向异性与主应力的关系

据杜学彬等(1999)研究结果^[10],如果把中国大陆中等以上地震震前近场分布的地电、水动态、水化学和地应力、地形变 5 种前兆异常归因于地震孕育、发生的力学过程引起的地壳介质的力学条件变化,则异常时空强演变表明:震前震源区及周围发育着与短临异常时间相匹配的某一方位水平挤压或张应力变化突出的应力场,挤压或拉张变化突出的方向与震源断层错动(挤压或拉张)协调,与震源机制解的 P 轴或 T 轴方位吻合。如 1995 年永登 M_s 5.8 地震前短期内刘家峡地应力其主应力变化的差异十分典型^[5]。岩石介质在一定的单轴应力或差应力作用下,扩容微裂隙走向一般沿最大加压方向优势取向^[6],在地壳近地表的深部,由于岩石静水压和脆性岩层中浅层断层发育,水平裂隙闭合,裂隙竖向排列,裂隙面法线方向水平,所以应用均匀方位各向异性介质描述震源区及附近介质在一定程度上是可接受的。杜学彬等^{[7]②}应用均匀方位各向异性介质模型,从视电性变化各向异性与真电性变化各向异性的理论关系、强地震震例两个方面研究了孕震晚期阶段近震中区视电性变化各向异性,得到:视电性变化最大的测向与最大主压应力方位正交或近于正交,主应力方位或近于主应力方位的测向变化最小或不显示异常变化。这个结果与绝大多数岩(土)标本加载环境中视电阻率方向性变化吻合。

据张洪田等^[11]本次 M_s 6.1 地震震源机制解 P 轴方位 65°。山丹地电与主应力方位近于正交的 N45°W 测向下降异常幅度大于近于平行主应力方位的 EW 测道的下降幅度(图 2),就其震前短期阶段的恢复性上升变化而言,仍然是 N45°W 测向回升幅度大于 EW 测向幅度。显然,其变化过程与本次地震孕震晚期阶段震源区及附近的加载方式有关,变化很典型。

根据物探电法在均匀介质中的传统探测深度定义(电流密度最大的深度),按山丹地电供电极距和观测装置估计其深度最大约 500~800 m,如果按山丹地电观测场地电性结构为 A 型结构来估计,其深度比上述要小的多。但山丹地电在本次地震前视电性变化各向异性与 6.1 级地震最大主应力的关系却反映出检测了地壳较深部的电性变化,这是需要解释清楚的问题。杜学彬等^③研究了均匀方位各向异性介质中我国现行观测装置和极距的探测深度 H 和探测范围下限 H_e (在地下介质中垂直流经 AB 中点线 $O \sim H_e$ 之间的线电流占 $0 \sim \infty$ 全线电流的 90% 时,称 H_e 为探测范围下限),随着介质真各向异性系数 $1/\lambda$ 增大, H 、 H_e 增大,而 $1/\lambda$ 随震级增大和震中距减小而增大。由本次地震前山丹地电 EW、N45°W 测道 1 年尺度异常幅度可近似求得视各向异性系数 $\lambda \approx 1.13$,由 $\lambda_{xy} = \frac{2\lambda^3}{3\lambda^2 - 1}$ 的关系近似求得 $1/\lambda \approx 1.27$,把 $1/\lambda$ 分别代入计算 H 、 H_e 的公式,可求得 $H \approx 900$ m, $H_e \approx 1456$ m(因为山丹地电 EW、N45°W 两个测道并非正交等原因,计算的 λ 偏小,导致 $1/\lambda$ 小,实际的 H 、 H_e 应比计算结果大)。这个深度恰好是 Crampin 等认为近地表附近(2~3 km 及以上)微裂隙竖向排列、形成方位各向异性介质的深度。由此来看,山丹地电在本组地震前检测了近表层较深部的电性变化是比较明确的。

同时,山丹地电视电性变化各向异性, N45°W 测向变化幅度最大(1 年尺度~短期阶段),指示了震源

② 杜学彬等.地震电性变化的各向异性(待刊).

③ 杜学彬等.地震电阻率观测的检测深度(待刊).

区及附近在孕震晚期阶段最大加压方向是在 NE 向或近于这个方向。

3 山丹地电未检测到临震变化的问题

地震电性变化在临震阶段以快速、大幅度变化而广为关注。唐山 7.8 和松平 7.2 级地震以及国内部分中等地震、6 级左右强震前临震信息十分丰富,但本次地震山丹地电距离仅 43 km,却未记录到临震信息(图 3),反而不如 1990 年景泰 $M_s6.2$ 地震(285 km)和 1982 年青海刚察 $M_s5.3$ 地震(130 km)的临震显示^[2]。图 3 中存在比较多的日值突跳,这一般是观测场地电磁干扰造成的。根据多年的研究和观测,无临震显示不外乎两种原因,一是数据产出过程,二是由构造条件和发震机制所造成。如前所述,2001 年起山丹地电台的观测数据系统性上升不影响本次地震前短临信息的识别,所以数据产出过程无需过多讨论,主要研究第二个问题。

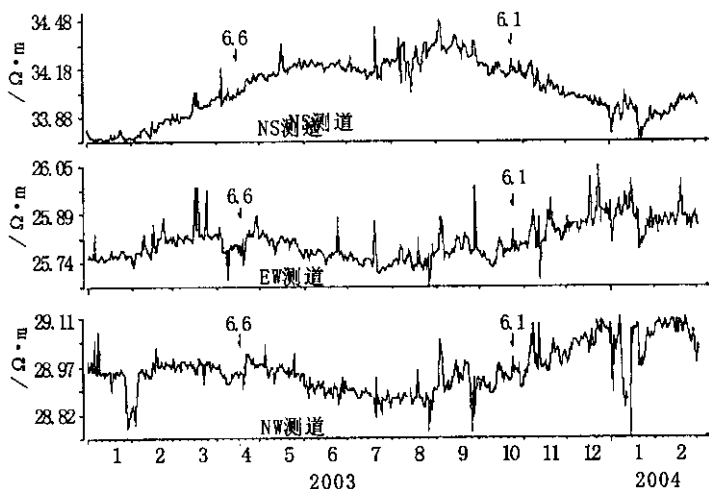


图 3 山丹地电阻率日均值曲线

Fig. 3 Daily mean value curves of earth-resistivity at Shandan station.

杜学彬等^[2-5]研究了中国大陆中等以上地震前近场分布的地电、水动态、水化学和地应力、地形变 5 种前兆短临异常空间分布特征和复杂性,提出短临异常空间分布一般来说符合“异常—震源地点—活动断层—发震机制”的特定关系(1)异常显示为近 2 象限性的方位性优势分布,一般分布在以震中区为对称、发震应力场方向(挤压或拉张优势方向)约 $30^\circ \pm$ 的区域内(2)震源与观测台站之间的主要活动断层,在发震应力场方向与活断层以小角度相交情况下,对观测台站显示短临异常有“阻隔”(或“减弱”)作用(大约小于 30° 时一般观测不到异常)(3)异常优势集中在主要活动断层等地壳特殊部位。根据这个特定关系,结合民乐—山丹 $M_s6.1$ 地震发震机制和本区主要活动断层的分布情况,分析山丹地电无临震显示的原因。

图 4 是本组地震震中、附近 2 个地电台(山丹、武威)和主要活动构造分布图。本次 6.1 级地震震源机制解 P 轴方位 65° ,仰角 20° ,说明存在 NE—NEE 向水平挤压作用。另据山丹台视电性变化各向异性的表现,三个测道中 $N45^\circ W$ 测道下降幅度最大,可以推测本组地震孕震晚期阶段是 NE—NEE 向的挤压作用突出。因此 6.1 级地震的发震应力场方向取 P 轴方位。以震中为原点作 P 轴方位 $\pm 30^\circ$ 的两条直线,山丹台在两条直线所夹区域以外。根据上述特定关系第(1)条,这种情况下一般不易观测到突出的短临信息。应用归一化变化速率方法对山丹地电日均值进行处理,存在弱的临震显示,不如 2002 年玉门 5.9 级地震前 69 km 的嘉峪关地电短临信息突出。由此看来,山丹地电在本组地震前未显示明显临震信息的原因是由本组地震的发震应力场分布和该台相对震中的位置所决定的(目前尚不知第二次 5.8 级地震的震源机制解)。

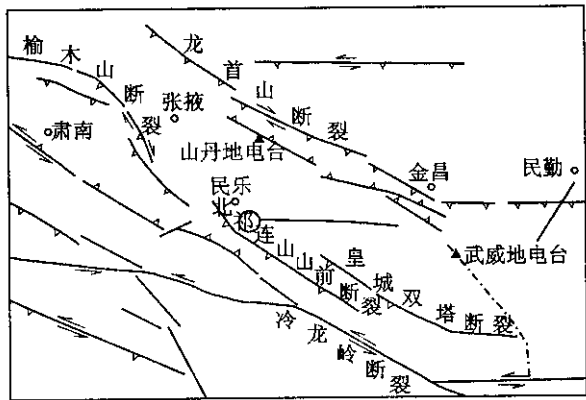


图 4 民乐—山丹地震附近活动构造和地电台分布示意图(据刘小风)

Fig. 4 Sketch map of active faults and geo-electric stations near the Minle—Shandan earthquake.

山丹地电在 6.1 级地震前不显示短临异常的现象与笔者前期研究结论一致,也说明前期大量实际震例总结的结果有客观性。

4 结论

(1) 民乐—山丹 $M_s6.1$ 、5.8 地震前, 近距离的山丹地电中短期—短期前兆性变化过程与含水岩(土)标本加载实验和岩石扩容阶段的电阻率变化过程相当吻合, 地电阻率变化各向异性与 6.1 级地震最大主应力方位的关系与标本加载过程中视电阻率方向性变化吻合, 物理机理比较清晰, 指示山丹地电检测到了与本组地震孕震晚期阶段的力学过程有关, 近地表以下地壳较深部的地震电性变化信息, 前兆性变化可靠。

(2) 山丹地电尽管距离本次 6.1 级地震很近, 但未观测到突出临震信息, 主要原因可能是由本次地震的发震应力场分布和山丹地电台相对于本次地震的位置所决定的。与笔者前期关于中国大陆中等以上地震前近场分布的地电、水动态、水化学和地应力、地形变等 5 种前兆短临异常空间分布的复杂性研究结果一致。

[参考文献]

- [1] 马 瑾, 马胜利, 刘力强. 地震前异常的阶段性及其空间分布特征 [J]. 地震地质, 1995, 17(4) 363 - 370.
- [2] 杜学彬, 赵和云, 陈保智. 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.
- [3] 杜学彬, 张新基, 张 慧. 中国大陆强震水氡短临异常空间特征 [J]. 地震学报, 1996, 18(3) 358 - 364.
- [4] 杜学彬, 刘耀炜, 倪明康. 强震地下水动态中短临异常空间特征研究 [J]. 地震学报, 1997, 19(4) 426 - 433.
- [5] 杜学彬, 李步云, 刘耀炜. 1995 年永登 5.8 级地震多种前兆异常特征 [J]. 西北地震学报, 1997, 19(4) : 19 - 24.
- [6] 郭增建, 秦保燕. 震源物理 [M]. 北京: 地震出版社, 1979. 100 - 170.
- [7] 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.
- [8] 陆阳泉, 钱家栋, 刘建毅. 大型花岗岩标本破裂过程中电阻率和声发射前兆特征的实验研究 [J]. 西北地震学报, 1990, 12(2) 35 - 41.
- [9] 杜学彬, 薛顺章, 张世中, 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.
- [10] 杜学彬. 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) : 1 - 22.
- [11] 张洪由, 徐力生. 2003 年 10 月 25 日甘肃省西部发生 6.1 级和 5.8 级地震 [J]. 国际地震动态, 2003 (11) 35.

THE MEDIUM-SHORT AND SHORT TERM ANOMALIES OF EARTH RESISTIVITY AND THE REASON FOR ON IMPENDING PRECURSOR BEFORE MINLE—SHANDAN EARTHQUAKES IN 2003 AT SHANDAN STATION

DU Xue - bin^{1,2}, YE Qing²

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China ;

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China ;

Abstract Shandan geo-electric station is only 43 km from the epicentre of Minle—Shandan $M_s6.1$ earthquake in 2003. The electric variations precursor is obviously recorded at the station during the one year and short - term period before the earthquake, which is the typical precursory electric variation in or near the focal region in the late preparation period of strong earthquake. But the anomalously electric change does not appear in impending period. The main reason is probably the direction of pressure stress in seismic stress field and the station orientation to the event, according to the special relationship among the imminent anomaly, focal site, active fault and the causative mechanism.

Key words Minle—Shandan earthquake ; Shandan Earth-resistivity ; Precursory variation ; Impending event.