

19-24

1995年永登5.8级地震多种前兆异常特征

杜学彬 李步云 刘耀炜
(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

p315.7

摘要 研究了1995年7月22日甘肃永登5.8级地震地电、水化学、水动态、地应力、地形变等5种前兆的异常特征,得到如下结论:①该次地震中短期(1年尺度)和短临异常空间分布符合“异常-震源地点-发震机制-主要活断层”之间的特定关系,近2~3年的中期异常集中分布在西秦岭北缘北西向断裂带和海原-通渭-武都南北向断裂带上;②震前约1年时间尺度震源区发育起来了北北西-南南东向挤压变化突出的附加应力场,并引起断层错动;③源兆集中分布在本次地震震源周围,场兆集中分布在上述两条活动断裂带上。源兆占异常的大多数,场兆占少数。在时间上场兆出现在先,源兆在后。

关键词 地震前兆 异常特征 活断层 应力场 甘肃

1 引言

1989~1995年5月笔者研究了中国大陆强震和中强震地电、水化学、水动态、地应力、地形变5种前兆短临和中短期异常空间分布不均匀性,发现异常空间分布与强震、中强震发震机制和震源周围的主要活断层(深大活动性断裂、强活动性断层)有特定关系,震源周围无异常测点空间分布与震源地点、发震机制和活断层之间的关系也是明显的^[1-7]。1995年7月22日甘肃永登发生了 $M_S5.8$ 地震,震中周围450km范围内上述5种前兆测点共有38个(仅限于可收集到资料的测点),观测资料丰富。本文在作者前期研究的基础上研究了该次地震5种前兆短临和中短期异常特征。

2 永登 $M_S5.8$ 地震的多种前兆异常特征

据兰州地震研究所综合预报室在永登地震后第二天作的关于甘肃省内前兆观测结果的介绍和我们的分析,震中周围450km范围内甘肃省38个前兆测点中有20个测点显示了异常(同一测点上同一前兆的各单项异常不累积)。震中以西还有青海省的一些测点,但是1994年1月至永登地震前19个月内,在这些测点附近的1990年共和7.0级地震老震区接连发生了7次 $5.0 \leq M_S \leq 6.0$ 地震,故本文不讨论这些前兆测点的观测结果。

2.1 异常空间分布特征

如以永登地震震源机制解(表1,据温增平)的T轴方位代表该次地震发震应力场方向,异常空间分布与该区主要活断层空间格局不符合作者提出的“异常-震源地点-主要活断层-发震

* 甘肃省自然科学基金(93-ZR-036)资助项目。

收稿日期:1996-10-08。

第一作者简介:杜学彬,男,1956年8月生,副研究员,从事地电方法预报地震的观测与研究。

机制”之间的特定关系^[1-7],同时无异常测点的空间分布也无规律可循.如以 P 轴方位代表该次地震的发震应力场方向,过震中分别作大于发震应力场方向 35°和小于该方向 35°的两条相交直线,上述 38 个测点中有 32 个测点位于两条交线的锐角区内,即分布在震中北西和南东两个方向的有限区域中,其余 6 个测点位于锐角区以外(图 1).

锐角区内 32 个测点中武威(地电)、门源(地形变)、连城(水化学)、古浪(水化学)、兰州(地电、水化学、地形变、水动态)、刘家峡(地应力)、榆中(水化学)、定西(地电)、武山(水化学)、宕昌(地形变)、临夏(地电)、礼县(地电、水动态)、漳县(水动态)以及山丹(地电)等 18 个测点与震中之间无主要活断层,或者虽有主要活断层,但其走向与发震应力场方向交角约 60°左右.18 个测点中除了临夏地电、漳县水位、礼县地电外其余 15 个测点均不同程度地显示了中短期和(或)短临异常.西秦岭北缘断裂带以北的刘家峡、定西、兰州、榆中、连城、古浪、武威、门源等 11 个测点异常突出.图 2~4 给出了个别测点的异常.图 4 是李步云计算的刘家峡电感应应力站(相对测量)1984~1995 年 7 月共 11.5 年的 σ_2/σ_1 比值曲线^[8](σ_1, σ_2 分别为最大和最小主应力).

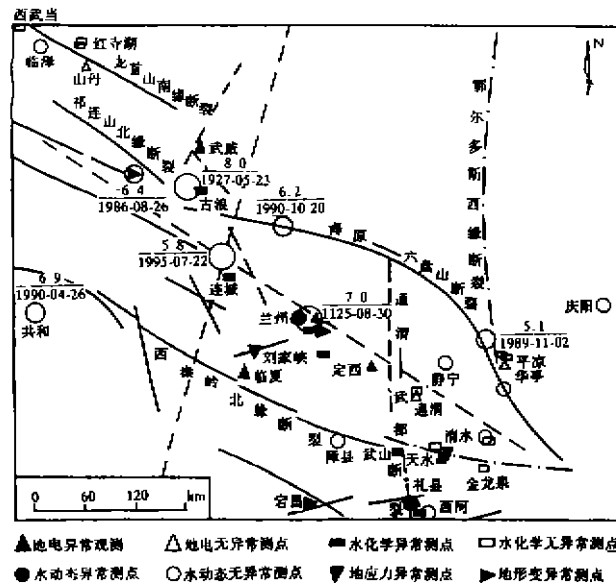


图 1 震中、前兆测点和主要活断层分布

Fig. 1 Distribution of epicenters, precursory stations and active master faults.

图 2~4 给出了个别测点的异常.图 4 是李步云计算的刘家峡电感应应力站(相对测量)1984~1995 年 7 月共 11.5 年的 σ_2/σ_1 比值曲线^[8](σ_1, σ_2 分别为最大和最小主应力).

表 1 永登 M_{5.8} 地震震源机制解

A-节面			B-节面			P-轴		T-轴		B-轴	
方位	倾向	倾角	方位	倾向	倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
N74°W	196°	88°	N18°E	288°	39°	342°	32°	231°	35°	102°	41°

西秦岭北缘断裂带上的临夏台地电显示了近 20 个月的中期异常.位于该断裂与海原-通渭-武都南北向断裂交汇部位的武山水氡和水汞测点显示明显的短临异常,该测点水氡还显示了近 3 年的中期趋势异常.

32 个测点中的西武当(水化学)、临泽(水动态)、红寺湖(水化学)、通渭(地电、水化学)、清水(水化学、水动态)、天水(地电、地应力、水化学)、西和(水动态、水化学)、金龙泉(水化学)等 14 个测点与震中之间分布有“阻隔”断层.其中,仅有位于西秦岭北缘断裂带上的天水地应力和地电显示了与位于同一断裂带上的临夏地电同步的明显中期异常,位于海原-通渭-武都断裂上的西和测点水氡总体上看来显示了近 3 年尺度的线型上升变化,基本上与位于同一

① 李步云,附加应力-应变场主值比方法预报地震的研究,1995.

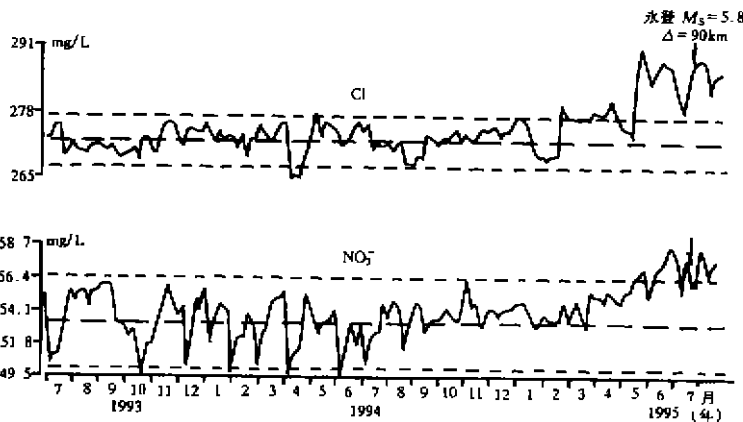


图2 兰州西龙口泉水质(氯离子 Cl^- 、硝酸根离子 NO_3^-) 观测曲线(陈兰庆、刘耀炜提供)

Fig.2 Curves of water quality (Cl^- and NO_3^-) at Xilongkou station in Lanzhou City.

断裂上的礼县台地电阻率和上述两条断裂交汇部位的武山测点水氡趋势变化同步。

静宁(水动态)、华亭(水动态)、平凉(水化学、地电)、庆阳(水动态)等6个测点位于锐角区以外,同时海原-通渭-武都南北向断裂、鄂尔多斯西缘南北向断裂和海原-六盘山断裂东南段的走向与发震应力场方向之间的交角均不大,在这6个测点上未出现明显的中短期和短

临异常。

综上所述,在永登5.8级地震之前有异常和无异常测点空间分布有如下特点:

(1) 显示1年尺度中短期和(或)短临异常的15个测点集中分布在过震中大于P轴方位 35° 和小于该方位 35° 的两条相交直线的锐角区以内,即震中北西和南东两个方向的有限区域内——震源机制解的主压应力区的部分区域。这15个测点与震中之间无“阻隔”断层,并且绝大多数异常集中在西秦岭北缘断裂带以北(图1)。异常空间分布符合作者曾提出的“异常-震源地点-发震机制-主要活断层”之间的特定关系。

(2) 显示2~3年中期异常的临夏地电、天水地电和地应力、武山水氡、西和水氡、礼县地电等测点分别位于西秦岭北缘断裂和海原-通渭-武都断裂这两条大断裂带上,其中临夏地电、武山水化学、礼县地电和流量异常空间分布符合上述特定关系。

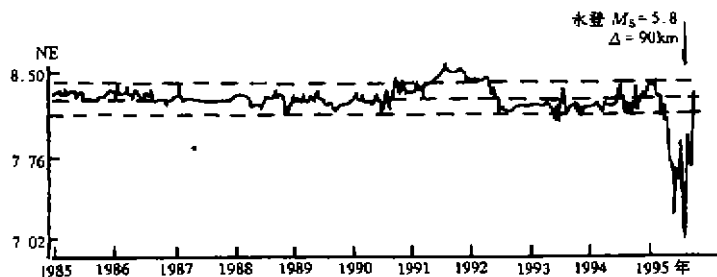


图3 兰州台地电阻率5日均值曲线(据毛可等)

Fig.3 A curve of 5-day mean value of earth-resistivity at Lanzhou station.

(3) 未显示异常的18个测点中有17个测点或者位于上述锐角区以外,或者尽管位于锐角区内,但与震中之间有“阻隔”断层(图1)。这17个无异常测点空间分布符合前期结果。

2.2 异常时间特征

(1) 异常空间分布符合上述特定关系的连城、古浪、武威、门源、兰州、刘家峡、定西、临夏、榆中、宕昌、山丹、武山、礼县等17个测点中,除了临夏地电、礼县地电外,其余15个测点均显示了1年尺度的中短期和(或)短临异常。其中近震中的兰州水化学和地电、连城水氡、古浪断层气显示了明显的短临异常。

(2) 西秦岭北缘断裂带上的临夏地电、天水地电和地应力显示了近2年的中期异常,并且异常起始时间同步,位于海原-通渭-武都南北向断裂上的武山水氡、西和水氡、礼县地电显示了近3年的准同步的中期趋势异常。

3 问题讨论

3.1 永登地震的发震机制

由于永登地震仅为5.8级,震源断层地表错动特征不明显,宏观考察难以准确揭示发震断层错动性质。其次震

源机制解仅代表断层错动过程中的释放应力,不能揭示震前一个时期内震源断层所承受的应力的性质。作者从以下两个方面对永登地震的发震机制作一些讨论。

(1) 永登地震震源周围450 km范围内38个测点中20个测点显示了异常。在假定发震应力场方向为震源机制解的P轴方位的前提下,20个测点中显示了短临异常和(或)中短期异常的15个测点以及显示了中期异常的临夏地电、礼县地电等2个测点(武山台水氡除了显示短临异常外,还显示了中期异常),其空间分布完全符合“异常-震源地点-发震机制-主要活断层”之间的特定关系(其它3个测点的异常后面讨论)。18个未显示异常的测点中有17个测点空间分布符合无异常测点-震源地点-发震机制-主要活断层之间的相互关系。仅漳县水位测点符合上述特定关系,但未观测到短临或中短期异常(该测点对1990年甘肃景泰6.2级地震也未显示异常)。地电、水化学、水动态短临和中短期异常变化是与力学过程有关的应力、应变变化为源的物理过程^[2],地应力、地形变短临或中短期异常变化也属于这种物理过程。因此笔者认为本次地震发震应力场方向为P轴方位是客观的(当然这个方位难免有误差),也就是说永登地震是在北北西-南南东方向的应力挤压作用下发生的,并且进一步可以推断震源区及其周围在震前中短期异常发育的时期内已发育起来了这一应力场。

(2) 刘家峡地应力测点的异常符合上述特定关系。由图4可见,1984~1994年8月最小主应力与最大主应力比值(σ_2/σ_1)稳定,在零基线附近摆动。特别是 σ_2 在11年多的时间内逐步由拉伸转为压缩,仅仅变化了不到100 kPa。但是从1994年9月开始 σ_1 和 σ_2 大幅度变化(1994年10月~1995年7月兰州地震研究所曾4次组织专家落实异常,认为该应力站异常不能归于环境因素)。1994年9月 σ_1 开始出现压应力增大变化,11~12月变幅最大,约150 kPa。 σ_2 从1994年11月开始挤压状态明显增强,1995年5~7月变幅最大,约900 kPa,远大于 σ_1 的变化(图5)。本次地震就发生在 σ_2 变化最突出的阶段。 σ_2 变化显示了明显的中短期-短临变化的阶

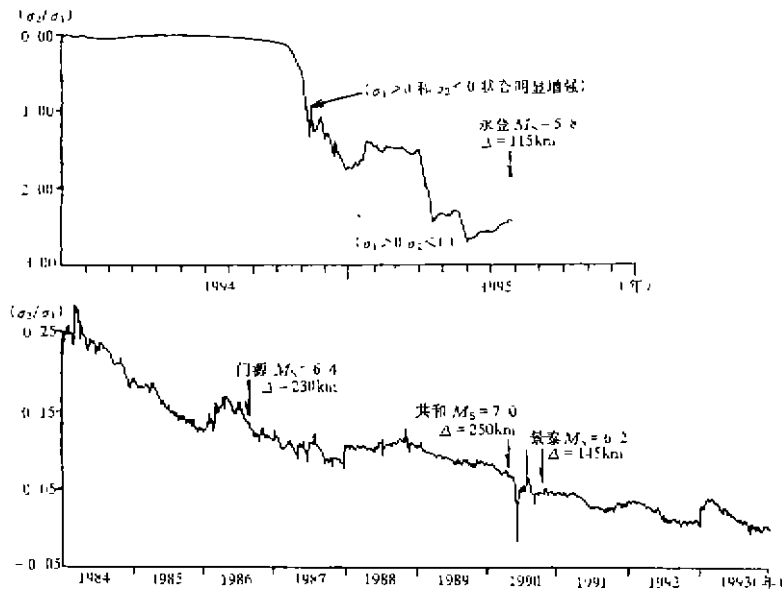


图4 甘肃永靖县刘家峡地应力测量主应力比
(σ_2/σ_1) (σ_1 为最大主应力, σ_2 为最小主应力, 拉为正, 压为负)

Fig 4 The curves of principal stress ratio (σ_2/σ_1) at Liujiaxia station.

段性,同时主应力方位也发生了明显的偏转(图5)。本次地震发生时 σ_1 的方位为 74° , σ_2 的方位与永登地震震源机制解的P轴方位相当吻合。由此也证明从1994年9月开始该区明显发育起来了北北西-南南东向挤压变化突出的附加应力场。这与多种前兆显示的发震应力场方向和近东西向的震源断层发生了右旋错动^①相吻合。

作者在文献[1~5]中认为中国大陆中强以上地震(尤其浅源大震)在震前短期内震源区及其周围发育着某一方向水平挤压或拉张变化突出的附加应力场(即发震应力场),其变化突出的方向与震源机制解的P轴或T轴方位相吻合。刘家峡地应力站关于永登地震的观测结果对作者的上述认识是一次较好的验证。

3.2 永登地震场兆和源兆特征

一次地震的发生是大范围应力场调整过程中引起地壳某一位位应力集中-释放的力学过程。源兆与一次地震孕震的个体力学行为特征有关,而场兆与大范围

的应力场调整变化有关。在大范围的应力场调整过程中,首先参与调整变化的是震源周围的主要活动断裂。如果把西秦岭北缘北西向断裂带上的天水台地应力和地电、临夏台地电近2年的中期异常和海原-通渭-武都南北向断裂上的礼县地电、西和水氡、武山水氡近3年的中期异常归于场兆,而把连城、古浪、兰州、武威、刘家峡、门源、定西、宕昌、礼县(流量)、山丹中短期或短临异常以及武山水氡短临异常归于源兆,则源兆、场兆空间和时间分布特征明显不同。源兆占异常总数的绝大多数(70%以上),相对集中在震源周围,异常空间分布符合“异常-震源地点-发震机制-主要活断层”之间的特定关系,震源周围异常同步或准同步;而场兆占异常总数的少数(30%以下),部分异常空间分布符合上述特定关系,部分异常空间分布不符合上述关系,但是场兆均分散在震源区外围的主要活动断裂上,并且同一活动断裂上场兆同步或准同步。时间进程上场兆出现在先,源兆出现在后,特别是近震中区的源兆大都是短临异常。武山水氡测点空间上符合“异常-震源地点-发震机制-主要活断层”之间的特定关系,并位于西秦岭北缘断裂和海原-通渭-武都断裂的交汇部位,该台水氡和水汞观测显示了与近震中区的源兆同步的短临异常,还显示了与同一断裂带上的礼县台(地电)、西和台水氡同步的中期异常(场兆)。

4 结语

通过对永登5.8级地震前兆异常时空分布的分析,检验了1989~1995年作者提出的“异常-震源地点-发震机制-主要活断层”之间的特定关系以及无异常测点空间特征,同时探讨了一次强震的源兆、场兆的时空特征及其判别方法。通过追踪源兆的空间、时间演化而缩小预报一

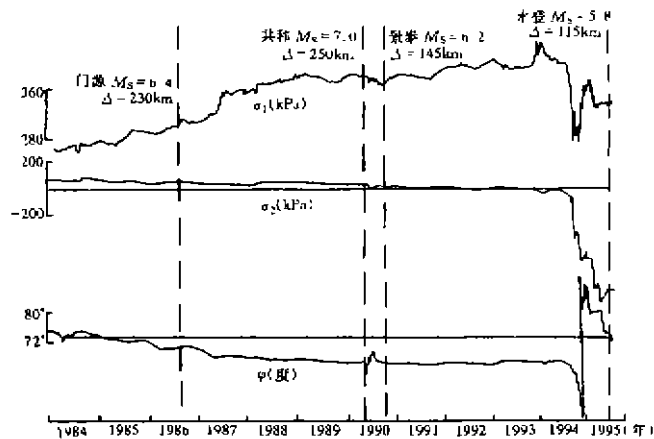


图5 刘家峡地应力站测得的主应力、主方向曲线
(σ_1 为最大主应力, σ_2 为最小主应力, φ 为 σ_1 的方位)

Fig.5 Curves of principal stress and its direction
at Lujiaxia ground stress station.

^① 荣代潞,等.1995年7月22日永登5.8级地震现场考察和震源机制解.1995.

次强震、中强震空间范围和时间区间. 由上述分析可见永登地震中短期和短临异常空间、时间上十分复杂的演化图像与震源地点、发震机制和主要活断层有明显关系. 中期异常空间、时间演化显示出与主要活断裂密切相关. 源兆和场兆在空间和时间上的演化有截然不同的特征. 一次强震、中强震周围活动断裂空间格局是固定的, 由前兆观测可知异常空间分布和无异常测点空间分布, 基于这些已知条件, 由上述特定关系反推强震、中强震的发生地点和发震机制, 并识别出源兆、场兆和干扰(干扰不具有场兆和源兆的特征, 而具随机性), 进一步追踪源兆空间和时间演化可缩小预报的空间尺度和时间区间, 这无疑在预报强震、中强震地点和时间方面有一定的意义.

虽然资料有限, 个别台站的资料信度不高, 但是不会影响本文的总体研究结果.

参考文献

- 1 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. 地震学报, 1993, 15(3): 303~312.
- 2 杜学彬, 张新基, 张慧. 中国大陆地震水氡短临前兆空间特征研究. 地震学报, 1996, 18(3): 358~364.
- 3 杜学彬, 刘耀炜, 倪明康. 强震地下水动态短临前兆空间特征研究. 地震学报, 1997, 19(4): 426~433.
- 4 杜学彬, 阎志得, 邹明武. 景泰 6.2 级地震震源动力学过程. 地震学报, 1994, 16(3): 296~303.
- 5 杜学彬, 陈有发, 阮爱国, 邹明武. 祁连大地电场变化与地震关系研究. 西北地震学报, 1994, 16(3): 84~87.
- 6 杜学彬. 武威地电台映震能力讨论. 西北地震学报, 1995, 17(3): 26~32.
- 7 杜学彬. 大陆中、强地震地电阻率临震突变及其时空分布讨论. 地震, 1992, 6(1): 51~60.
- 8 李步云, 陈志泰. 主应变异常理论在青海祁连地震预报中的应用. 高原地震, 1995, 7(3): 25~31.

CHARACTERISTICS OF PRECURSORY ANOMALIES RELATING TO THE YONGDENG M_S 5.8 EARTHQUAKE IN 1995

DU Xuebin LI Buyun LIU Yaowei

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

Anomaly characteristics of earth-resistivity, hydrochemistry, underground water behaviors, ground stress and deformation during the Yongdeng M_S 5.8 earthquake in Gansu Province on Jul. 22, 1995 were studied, and so the following conclusions were obtained: ① The spatial distribution of medium-short (one year time scale) and short-imminent anomalies accords with the special relation of 'anomaly-focal site-causitive mechanism-active master fault' put forth by authors, and the medium period anomaly which lasted about 2-3 years is concentratedly distributed along the NW fault zone on north margin of west Qinling mountain and Haiyuan-Tongwei-Wudu fault zone. ② The additional compression stress field in the NNW-SSE direction come into being during one year before the earthquake, which caused the displacement of the focal fault. ③ The focal precursors are concentratedly distributed around the focal area, while the field precursors occur along the two active master faults mentioned above. Most of anomalies belong to the focal precursors, while a few anomalies are the field precursors. As far as duration time of anomalies, the field precursors appeared more precedently than the focal precursors.

Key words Earthquake precursor, Anomalous character, Active fault, Stress field, Gansu