

祁连山地震构造带沙层应力仪观测记录 与地震活动初步分析*

程建武¹, 郭雪莲², 董治平¹, 郑卫平¹

(1. 甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 采用2008年在祁连山地震构造带上兰州观象台和嘉峪关中心台架设的两台沙层应力仪4年多的观测资料, 分析了沙层应力记录的基本特征及其与地震活动的关系, 初步探讨了沙层应力记录与强震孕育过程的关系。结果表明, 沙层应力记录在一定程度上反应了地震孕育和发生过程中的一些应力变化信息, 对于捕捉临震信息有一定的参考意义, 但也存在较多不确定性, 需要进一步分析判定。

关键词: 地震活动; 沙层应力记录; 应力变化; 祁连山地震构造带

中图分类号: P315.7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)01-0039-07

0 引言

2000年以来, 中国大陆发生了多次7级以上大震, 造成了重大的人员伤亡和财产损失, 尤其是2008年汶川8.0级地震造成的损失极为惨重。面对严重的地震灾害, 公众对地震预测预报提出了更高的要求, 社会对地震研究的需求也越来越迫切。目前沙层应力仪作为监测地震前兆信息的观测手段, 已获得了有一定参考价值的资料和数据。

沙层应力仪的深入研究和进一步改进, 提高了仪器数据采集的自动化程度, 对仪器测量信号和响应等进行了标定, 户外实验探测到的信息与实际地震前兆信息十分相近 (Lu *et al.*, 2011); 用沙层应力仪捕捉到实际临震前兆信息, 初步得到与地震发生相关联的前兆信息 (王玉莹等, 2003; 孙威, 2007; 孙威, 孙晓明, 2008; 武安绪等, 2009a)。陈健等 (2011) 利用河北怀来台和安徽合肥台的沙层应力记录特征进行了分析, 认为因为仪器特征和颗粒特性, 沙层应变观测结果和一般的形变观测存在较大的区别。沙层应力观测不到固体潮, 也没有明确的日变规律, 其记录受温度变化影响较大。但由于每个仪器台站所处环境的特殊性, 其记录亦有个性特征。

祁连山地震构造带位于青藏高原东北缘, 其

东段的海原断裂与牛首山、香山—天景山、六盘山和陇县—宝鸡等活动断裂带共同组成青藏高原东北缘NE向的弧形断裂系。该断裂带的大地构造位置属于北祁连褶皱带与河西走廊过渡带的交接部位, 自晚第四纪以来表现为整体活动性强, 地震活动频度高、强度大的特点 (刘百箴等, 2008), 是一条强震活动带, 也是未来可能发生中强以上地震甚至大震的地区。本文分析了目前架设在构造带上的两台沙层应力记录仪的沙层记录的基本特征、并讨论了观测记录与地震活动关系。

1 台站和沙层应力资料的基本情况

2008年汶川8.0级地震后, 中国地震局于2008年的8月和9月分别在兰州观象台和嘉峪关中心台各架设了一台沙层应力记录仪 (图1), 目前已经积累了近3年的观测资料。沙层应力记录仪放置在人工开挖的沙坑中, 仪器记录的是土层围压对沙层作用后的结果, 该仪器的发明初衷就是捕捉地震前的短临信息。

1.1 台站简介

兰州观象台位于兰州市区北侧, 其附近有北西西向的金城关断裂通过, 该断裂长约25 km, 走向N50°~60°W, 倾向SW (何文贵等, 2008)。王志林和李百祥 (2006) 据重力场特征分析, 推

* 收稿日期: 2013-08-14.

基金项目: 甘肃省地震局 (所) 地震科技发展基金 (2012M06) 和国家自然科学基金 (41202129) 联合资助。

断金城关断裂在深部为向北倾的逆断裂, 根据兰州市地震活断层探测的最新结果, 为中更新世晚期活动断层 (袁道阳等, 2008)。

嘉峪关台位于嘉峪关市附近, 其附近有北北西向的嘉峪关断裂通过, 嘉峪关断层是河西走廊盆地内部的一条重要断层, 走向 NNW 向, 晚第四纪以来新活动特征以挤压逆冲为主兼具右旋走滑, 断层全新世有古地震活动, 为一条晚更新世—全新世活动断层 (何文贵等, 2010)。

兰州观象台和嘉峪关的沙层应力仪观测资料共有 5 个测项, 有 NS、EW 道, 断层道和地面振动测量道, 表层测温等辅助测项。

沙层应力仪记录的是土层中的应力势的变化, 表现为记录为电信号变化, 单位为 mV, 根据已有的研究, 该仪器的有效监测范围经验值: 5 级 - 100 km, 6 级 - 200 km, 7 级 - 500 km, 8 级 - 1 000 km, 9 级 - 3 500 km 以上 (孙威, 2007)。

1.2 沙层应力资料的基本特征

沙层应变观测和传统的形变观测不同。目前已有的形变观测是在岩石里, 应力作用是建立在弹性力学基础上的, 而沙层应变观测是在细沙里, 是颗粒之间的相互作用, 外界应力作用于沙层后,

在沙层中产生的力链作用于记录仪器的结果 (陆坤权等, 2011)。这种作用也有别于水位观测, 颗粒状态并不是完全流动的。整个颗粒系统是由力链支撑的, 这种支撑一直处于非稳的状态, 因此沙层应变观测在某种程度上是模拟地壳应力作用结果的非稳性。

中国科学院物理研究所对沙层应力传感器进行了标定测试和室内外应用状态下的模拟测试 (Lu *et al*, 2011), 证明传感器对位移和振动敏感, 直接位移灵敏度为纳米级 (不加放大器), 有自组织能力, 线性和非线性响应, 能区分压应力 (逆势脉冲) 和张应力 (顺势脉冲), 对电磁干扰和声波干扰的影响不明显 (陆坤权等, 2011)。这些测试结果表明, 仪器能真实反映微弱的地下活动, 与物理机制关联密切, 可以直观地显示出地震前兆异常的线性过程、非稳状态和地震发生前后的地壳应力状态 (孙威, 孙晓明, 2008; 武安绪等, 2009b)。

沙层应变观测是建立在沙层中观测的, 它具备力在颗粒介质中传播的一些特性, 有别于传统意义的形变观测, 因此一般形变观测的影响因素在沙层观测上没有体现。一般形变观测能连续记

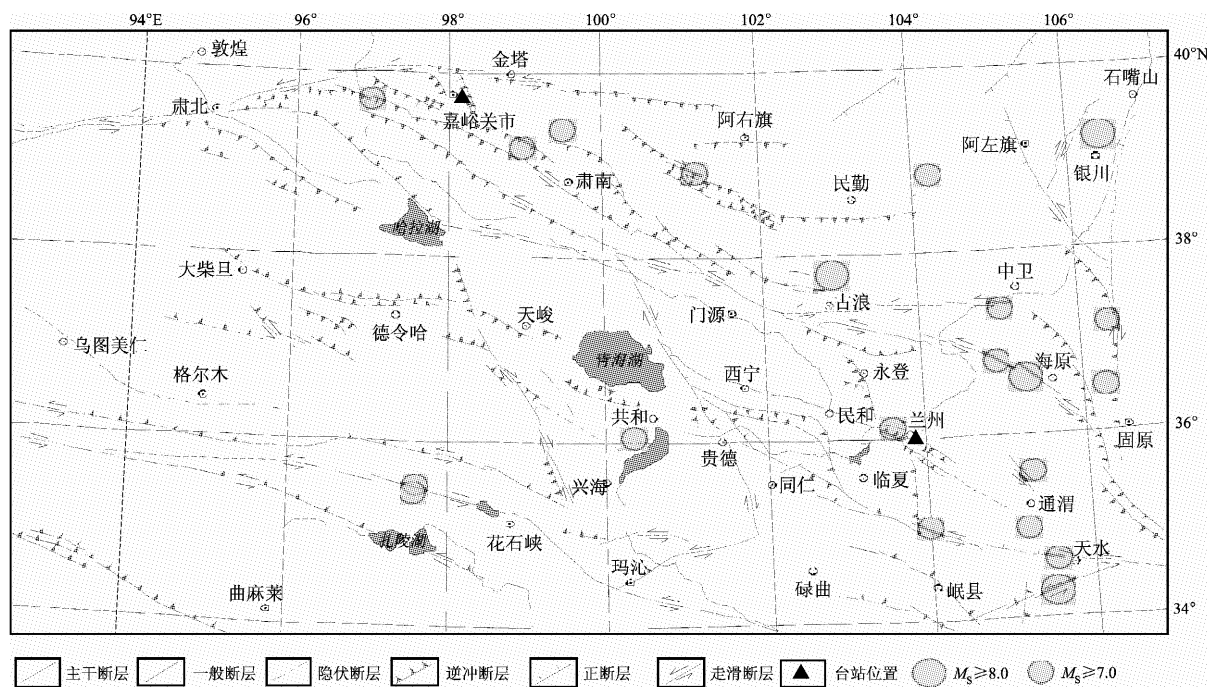


图 1 青藏高原北部地区构造简图及台站位置 (据刘百麓等 (2008); 崔军文等 (2006); 袁道阳等 (2004) 修编)

Fig. 1 Tectonic sketch of the northern Tibetan Plateau and the location of stations (modified by Liu *et al* (2008), Cui *et al* (2006), Yuan *et al* (2004))

录一些因素的影响,而沙层应变更多的反应的是非稳变化,而本身的颗粒不紧密特性也决定了无法对气压、固体潮、降雨等做出响应。

2 沙层应力观测记录与强震关系分析

笔者分析了兰州观象台和嘉峪关2个台站的沙层应力观测记录特征,并讨论沙层应力记录与祁连山地震构造带上中强地震及区域大震的活动关系。

2.1 近震记录特征

在2008年8月兰州观象台沙层应力台建成后,在其西南部于2009年8月28日发生了青海海西6.4级地震,从图2a可以看出,兰州观象台的沙层应力在8月18~23日有明显日畸变,其中EW道日变幅度变小,在24日有明显的突跳,可能与

震前应力场不稳定有关,NW道沙层应力(与构造线方向一致)也出现日变幅显著变化,日变形态与背景日变形态有明显的变化。而祁连山西段的嘉峪关台记录的沙层应力无明显的变化,主要原因是嘉峪关台本身有故障,出现“靠摆”现象,加上环境干扰等因素导致资料不可靠,因此没有捕捉到异常信息。

2012年5月11日,在距兰州台230 km处发生了肃南4.9级地震,兰州台EW和NW(断层方向)道记录到了该地震震前临震突跳,如图2b所示。从图中可以看出,肃南4.9级地震前EW道沙层应力日变形态基本完整,5月7日EW和NW道同时发生了突跳和日畸变,10日出现日变形态异常,11日发生了肃南4.9级地震。嘉峪关台仪器故障,这段时间记录不可信。

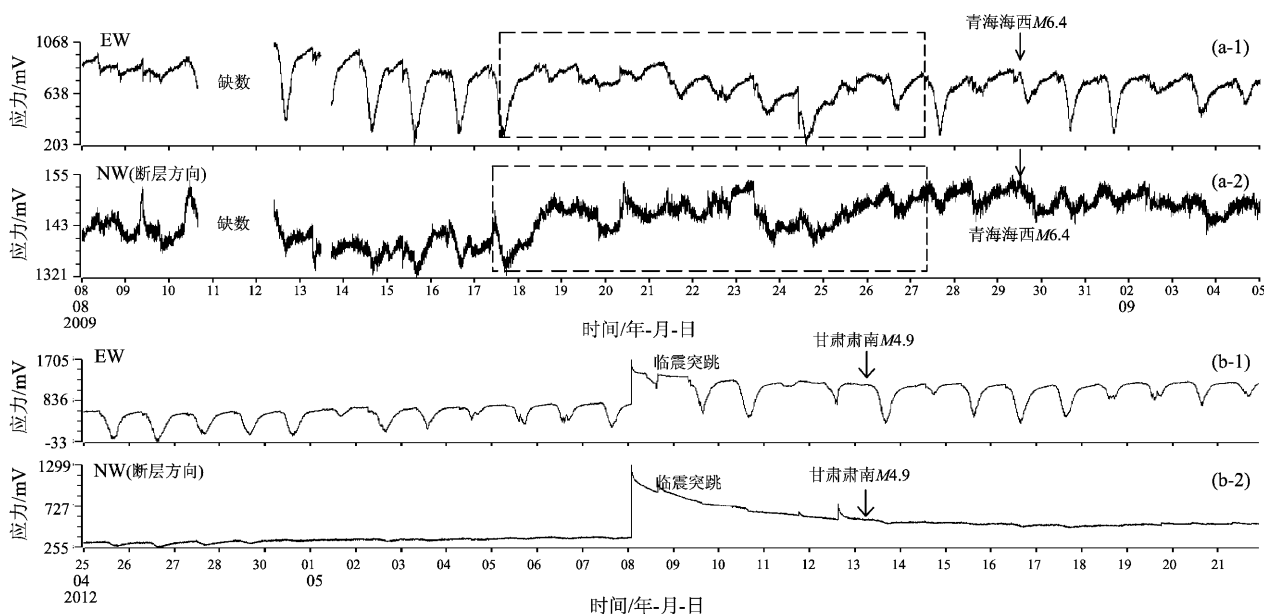


图2 兰州观象台记录的2009年青海海西6.4级(a)、2012年甘肃肃南4.9级地震(b)震前沙层应力变化特征

Fig. 2 Sand bed stress variation characteristic before Haixi $M_{\text{s}}6.4$ earthquake, Qinghai in 2009 (a) and Sunan $M_{\text{s}}4.9$ earthquake, Gansu in 2012 (b) recorded by Lanzhou Earth Observatory Station

2.2 远震记录特征

2010年在青海玉树发生了7.1级强震,该地震发生在甘孜—玉树—风火山断裂上,从构造背景上分析,玉树地震发生在巴颜喀拉山块体的南边界。而嘉峪关台在祁连山地震构造带上,距玉树地震震中770 km。从该台的沙层应力记录资料来看(图3a),EW道沙层应力在玉树地震前主要表现为日变幅度的变化,于4月8日开始变小,并

逐渐消失,在14日地震后沙层应力日变幅度增大,形态逐渐恢复。而NS道在玉树地震前未见明显的异常记录。兰州观象台在4月由于施工的影响没有记录到玉树地震的异常变化,主要原因是台站旁边道路硬化造成了大幅度影响,如图5中所示,高频干扰可能淹没了玉树地震异常。

嘉峪关台EW道沙层应力在2010年2月20~22日出现了日畸变,同时可见转折变化在2月16

日, 16 后有趋势性上升, 在上升过程中发生了智利 8.8 级地震 (图 3b)。兰州观象台在智利地震前, EW 道日变形态从 2 月 19 日开始略微有变化, 这可能与台站构造部位的差异和记录状态有关, 也就是说随着震源与台站相对位置的变化, 记录亦有变化。这表明台站并非每次都能够记录到地

震的前兆异常。

2011 年 3 月 11 日日本发生了 9.0 级地震, 该地震发生在太平洋与欧亚板块的俯冲带上, 是影响全球的一次巨震, 兰州观象台基本完整记录了这次地震前短期的变化过程 (图 4), 从 2 月 8 日开始, 兰州观象台就记录到了应力势的扰动过程,

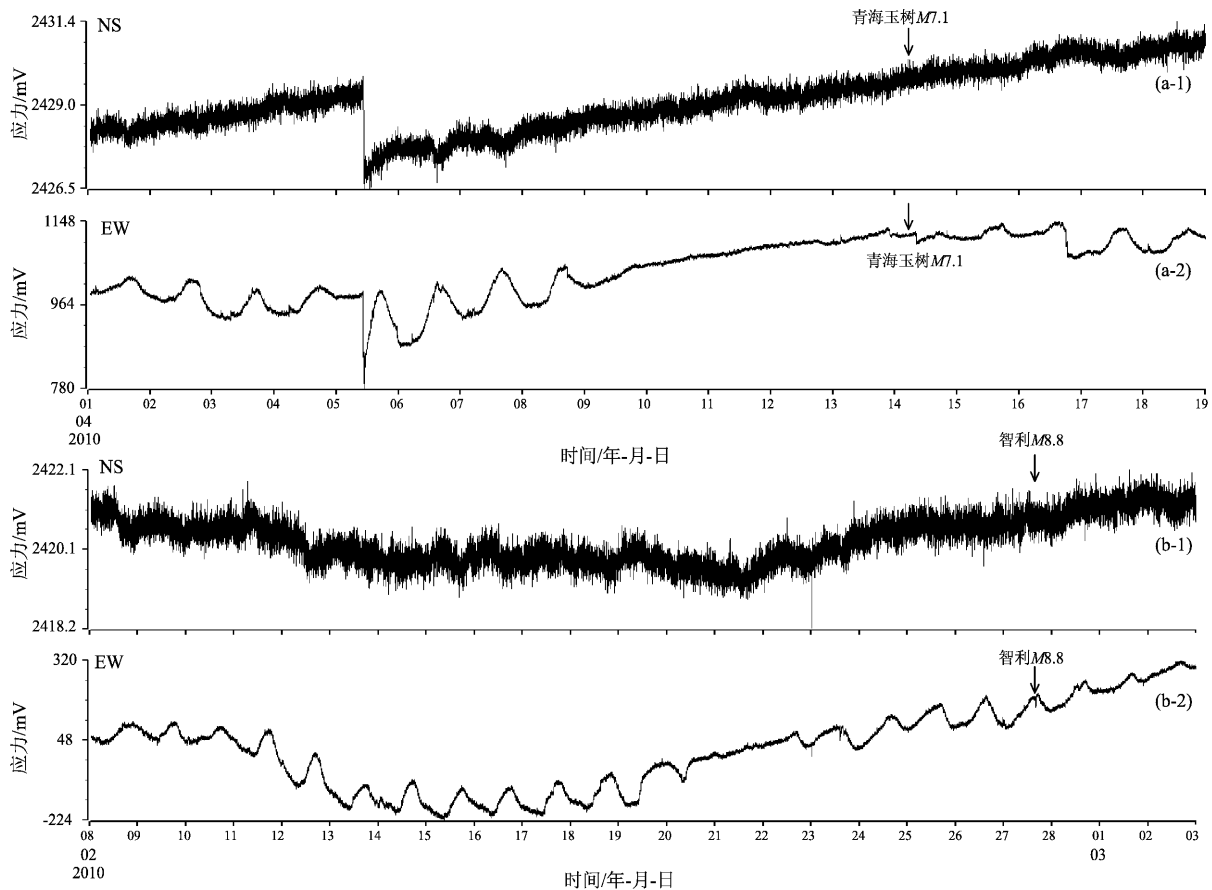


图 3 嘉峪关台记录 2010 年青海玉树 7.1 级 (a)、智利 8.8 级地震 (b) 震前沙层应力变化特征

Fig. 3 Sand bed stress variation characteristic before the Yushu $M_s7.1$, Qinghai (a) and Chile $M_s8.8$ (b) earthquakes in 2010 recorded by Jianyuguan Station

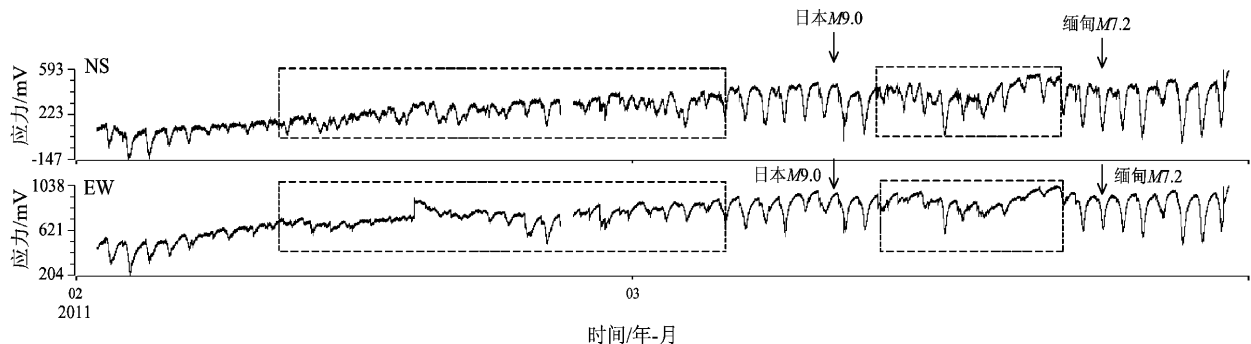


图 4 兰州观象台记录到 2011 年日本 9.0 级和缅甸 7.2 级地震的发震过程

Fig. 4 Earthquake preparation process of Japan $M9.0$ and Myanmar $M_s7.2$ earthquakes in 2011 recorded by Lanzhou Earth Observatory Station

表现为日变幅度变小,日变形态异常,在3月初开始恢复,但日变形态并不完整,3月5日基本恢复,一周内就发生了日本9.0级地震,5~11日的记录是应力从场区向震源区收缩的一个过程,地震后基本恢复。而从13日开始,日变幅度又开始减小,甚至消失,出现了日变不正常,上升的加速趋势一直持续到了23日,24日发生了缅甸7.2级地震。

从上面的几个震例研究来分析,沙层应力记录在地震发生前出现了一些异常变化,主要表现为日变形态的改变,沙层应力突跳增加,出现整体趋势的变化等。同时也清楚地看到该资料记录不到同震效应,对月相调制记录也不明显。这些资料形态的变化可能与地震的孕育发生存在一定的因果关系,下面通过对沙层应力观测资料干扰的分析进一步明确沙层记录与地震活动的关系。

3 观测记录的干扰分析

地震前兆资料的研究中最主要的一点就是排除非地震因素的异常。仪器记录在观测环境、观测电路、采集软件等环节存在不同程度的干扰异常,从而影响了地震前兆的可信度。

沙层应力观测记录主要来自沙层中应力变化的信息,其灵敏度较高,主要干扰来自人的作息活动、施工和电源变化。由于人的作息活动影响,台站附近施工等操作导致观测记录受到干扰,如2010年4月在观象台旁边硬化道路造成的干扰,记录主要表现为高频振荡变化,与施工时间严格一致(图5)。图6显示了由于电源变化停电、电压波动的干扰,嘉峪关台5月19日和26日沙层应力记录出现高频振荡变化。

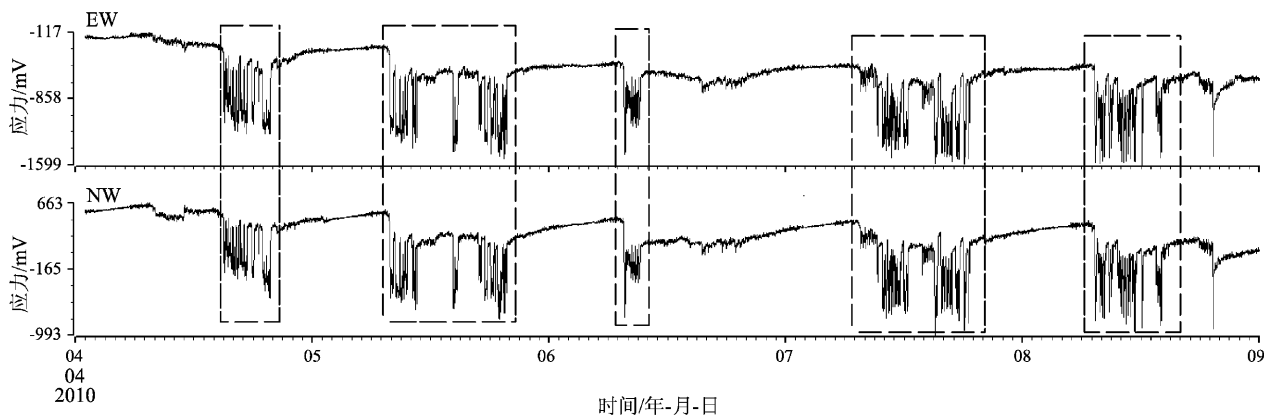


图5 兰州观象台沙层应力观测记录受周围施工影响

Fig. 5 Sand bed stress observational curve influenced by construction around Lanzhou Earth Observatory Station

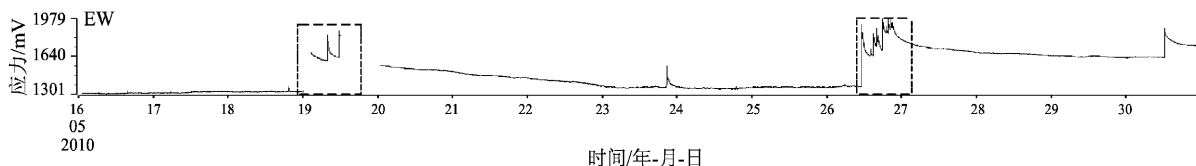


图6 嘉峪关台沙层应力观测记录由电源变化引起的干扰

Fig. 6 Sand bed stress observational curve recorded by Jiayuguan Station interfered by power supply variations

以上列举的这几种干扰,相对比较明确。但从长时间的观测记录来看,资料中出现的突跳、阶变和不明原因的升降等随机变化,其影响因素比较难于判别。因此在异常判定中区分地震前兆异常和干扰因素也是沙层应力预报预测的难点。

4 沙层应力记录与地震孕育的关系

(1) 从沙层应力记录本身分析,沙层应力记录仪安装在沙层装置中,记录土层应力势的变化,仪器灵敏度高,从祁连山地震构造带两个台的记

录资料来看,沙层应力仪能够记录到土层中的一些应变信息,即沙层应力记录能反映日变规律等,在地震前也捕捉到了与孕震有关的一些信息,这说明仪器客观的记录到了与地震活动有关的变化,资料可靠可信。

(2) 在沙层记录与地震活动研究方面,武安绪等(2009)利用北京市地震局的昌平和通州2台沙层应力仪,研究了在汶川大地震前后记录到的完整的沙层应变动态演化过程。通过比较分析,初步认为仅昌平台沙层应力仪记录到独特的应变变化过程,这一变化过程基本符合仪器发明人孙威(2007)提出的孕震物理模型概念。从这一过程中不难看出包括快速加载(应力增强,也包涵一定的扰动)、平衡相持(基本稳定变化)、快速卸载(具有扰动和快速下降特性)、短临变化(应变扰动变化、震前平静和幅度收缩)和临震信号(出现单边脉冲现象)5个明显不同特征的变化阶段,其动态演化过程具有完整性和连续性,显著性和阶段差异性特征,特别在后3个阶段信息含量比较丰富。该过程表现可以初步认为是一类较典型的地震趋势前兆,通过比较初步认定该过程基本再现了沙层应力仪在国内外多次观测到的地震前兆沙层应变异常图像所表达的强震孕震过程。

但是祁连山地震带上的2个台站,从目前的累积资料来看,与武安绪等(2009)研究的地震孕育发生的几个阶段有较大的区别,基本上没有明显的几个孕震过程,主要表现为临震信息,主要异常出现在震前半个月之内。

(3) 沙层应力记录资料在近震与远震的反映并不相同,从目前这两个台的资料来分析,远震、大震在地震前沙层资料记录主要表现为日变幅度的缩小和消失,沙层应力整体扰动增大,日变形态发生畸变,主震主要发生在沙层应力刚开始恢复和恢复后一周之内。近震的主要表现为日变规律异常,资料扰动大,出现临时突跳信息。

从本文的震例分析可以看出,沙层应力记录到了地震孕育图像和一些短临异常的信息,其异常变化趋势与正常的非加卸载应变变化过程具有很大的本质区别,地震异常的趋势明显,小尺度细节变化也与正常的日变化背景明显不同,说明沙层应变记录基本上可以捕捉到在一些大地震发生的过程中区域应力应变的演化过程,这可能对

今后的地震预测研究具有一定的指示意义,也说明该仪器有别于以前常规的应变观测仪器,在地震预测的研究方面具有一定的独特性。

5 结论与讨论

(1) 对祁连山地震带上安装的2台沙层应力记录仪器近4年多的观测记录的研究表明,在地震前,沙层仪器观测记录捕捉到了一些短临异常信息,可以为地震的预测预报提供一定的参考。

(2) 从震例分析可以看出,沙层应力资料对于记录区域应力场变化有一定的指示意义,但目前对资料的研究也停留在观测数据变化与地震发生之间的简单对比分析之上,地震的孕育和发生等问题一直是尚未解决的科学难题,对沙层应力资料如何记录地震的孕育和发生过程等问题的研究不够深入,加上由于资料的累积长度和台站数量的限制,该记录资料与地震孕育的关系尚待进一步研究和明确。

(3) 对于沙层应力目前已有的台站来看,主要问题是台站地址和构造部位的不同而导致沙层记录曲线存在一定差异,主要表现在曲线的形态和对地震孕育发生的记录不同,导致台站有个性特征,为地震短临前兆的捕捉和分析带来了一定的困难。同时从实际观测来看,观测数据存在很多不明的噪声变化。有些变化判断为仪器的问题,因为有许多大幅突跳很难找到合理的解释,这些显然对于地震前兆的甄别造成一定困难。

本研究得到沙层应力仪器发明者孙威老师的指导和帮助,在此深表感谢!

参考文献:

- 陈健,田滔,刘江斌,等. 2011. 沙层应变观测特征的初步研究[J]. 防灾科技学院学报,13(4):1-7.
- 崔军文,张晓卫,唐哲民. 2006. 青藏高原的构造分区及其边界的变形构造特征[J]. 中国地质,33(2):256-267.
- 何文贵,袁道阳,葛伟鹏,等. 2008. 兰州市金城关断层的活动特征[J]. 中国地震,24(3):247-252.
- 何文贵,袁道阳,王爱国,等. 2010. 嘉峪关断层中段的新活动特征[J]. 中国地震,26(3):296-303.
- 刘百箴,曹娟娟,袁道阳,等. 2008. 青藏高原北部活动地块内部的断层定量资料[J]. 地震地质,33(1):161-175.
- 陆坤权,厚美瑛,王强,等. 2011. 颗粒介质中探测地震前兆和前兆应

- 力—应变传播模型[J]. 科学通报, 56(6):383–390.
- 孙威, 孙晓明. 2008. 印度洋 8.7 级与 8.5 级地震的物理前兆[J]. 中国工程学报, 30(1):14–25.
- 孙威. 2007. 破坏性地震是可以预测的一孕震物理模型及临震信号[J]. 中国工程科学, 9(7):7–17.
- 王玉莹, 佟晓辉, 孙威. 2003. 1999 年岫岩 $M_s 5.4$ 地震前震、主震、余震应变异常特征的研究[J]. 地学前缘, 10(2):501–502.
- 王志林, 李百祥. 2006. 应用物探推断兰州金城关断裂及其倾角[J]. 甘肃地质, 15(1):72–75.
- 武安绪, 邢成起, 催博文, 等. 2009b. 从昌平平台沙层应变记录看汶川大地震孕震过程[J]. 国际地震动态, (4):17.
- 武安绪, 邢成起, 林向东, 等. 2009a. 沙层应变观测记录与变化特征分析[J]. 国际地震动态, (4):53.
- 袁道阳, 王兰民, 何文贵, 等. 2008. 兰州市地震活断层探测新进展[J]. 地震地质, 30(1):236–249.
- 袁道阳, 张培震, 刘百祺, 等. 2004. 青藏高原东北缘晚第四纪活动构造的几何图像与构造转换[J]. 地质学报, 78(2):270–278.
- Lu K. Q., Hou M. Y., Wang Q., et al. 2011. The earthquake precursor detected in a granular medium and a proposed model for the propagation of precursive stress-strain signal[J]. Chinese Sci. Bull., 56(11):1 071–1 079, doi:10.1007/s11434-011-4417-z.

Preliminary Research on the Relationships between Observation Data of the Sand layer Stress Gauge and Seismic Activity in Qilian Mountain Seismotectonic Belt

CHENG Jian-wu¹, GUO Xue-lian², DONG Zhi-ping¹, ZHENG Wei-ping¹

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

(2. Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract

Using the observation data in four years recorded by two sand layer stress gauges which were set up at Lanzhou Earth Observatory and Jiayuguan Stations in Qilian Mountain Seismotectonic Belt since 2008, we analyzed the basic characteristics of sand layer stress recording and its relation with seismic activity, and preliminarily discussed the relationship between two sand layer stress recordings and the strong earthquake preparation. The results showed that the sand layer stress recording reflected the stress variation in the process of earthquake preparation and occurrence in a certain extent, and had certain reference significant to capture the impending earthquake information. However, there were also some uncertainties and needed to do the further research to analyze and determine.

Key words: seismic activity; sand layer stress recording; stress variation; Qilian Mountain Seismotectonic Belt