

赵彬彬、高丽娟,2017,2017年8月9日精河 M_s 6.6地震前钻孔应变异常特征分析,中国地震,33(4),728~740。

2017年8月9日精河 M_s 6.6地震前 钻孔应变异常特征分析

赵彬彬 高丽娟

新疆维吾尔自治区地震局,乌鲁木齐市新市区科学二街338号 830011

摘要 利用形态分析法对天山中段钻孔应变资料进行分析,认为2017年8月9日新疆精河 M_s 6.6地震前天山中段钻孔应变出现明显的短期异常及临震异常。研究表明,精河地震发生前,天山中段9套钻孔应变资料中有5套出现异常现象,其中,2项短期异常,3项临震异常;异常特征主要表现为压缩-拉张变化、压缩速率变快、高频抖动信息、规律性脉冲及周期性台阶变化等;钻孔应变异常中,如果多套钻孔应变资料在同一时间段均出现异常,要重点关注极大应变方向重合区域;此次震前异常出现的时间顺序在空间上与天山中段断裂走向基本一致。

关键词: 精河 M_s 6.6地震 钻孔应变 前兆异常 时空演化

[文章编号] 1001-4683(2017)04-0728-13 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

据中国地震台网测定,2017年8月9日7时27分51秒新疆博尔塔拉州精河县发生 M_s 6.6地震,微观震中位于 44.28°N 、 82.90°E ,震源深度约11km,震中距精河县城约37km,震中区域震感强烈,石河子、昌吉、乌鲁木齐等地有震感。

从地震发生位置来看,震中位于博罗科努山西部末端的中低山区。根据现场科学考察结果初步判定,此次地震发生在库松木契克山前断层东末端,该断裂东起基普克一带,向西经扫子木图沿着库松木契克山前及北缘延伸至赛里木湖,总体呈 $290^\circ\sim 300^\circ$ 方向延伸,长约160km,断面南倾,倾角 $40^\circ\sim 60^\circ$,性质以逆冲为主,兼右旋走滑(冯先岳等,1991)。库松木契克山前断层具有多期活动的特点,沿断层面上新统和下更新统西域砾岩普遍发生褶皱变形,形成一系列背斜构造(王秋良等,2015)。断层大致可分为东、中、西3段,其中,东段和中段的新活动明显,断层断错了中更新世以来的各级地貌面和沟谷阶地,并在地表形成断层陡坎和古地震地表变形遗迹,为全新世活动的断层。此次地震震中位于该断裂的东段,研究表明,沿该断裂曾发生过4次古地震事件,最新一次古地震事件发生在距今2.25ka,最大垂直位错为0.7m;晚更新世晚期以来的垂直活动速率为 $0.2\sim 0.3\text{mm/a}$ (陈建波等,2007;陈建波,2008)。

震源机制解结果表明,精河地震震源错动方式为逆冲型。自1900年以来距震中200km

[收稿日期] 2017-09-20; [修订日期] 2017-12-12

[项目类别] 中国地震局2017年度震情跟踪合同制项目(2017010123)资助

[作者简介] 赵彬彬,女,1988年生,硕士,工程师,主要从事地震分析预报工作。E-mail: tszhaobinbin@126.com

范围内共发生 11 次 6 级以上地震,其中,距震中最近的是 1955 年 4 月 24 日尼勒克 M_s 6.5 地震,距离为 59km;时间最近的地震为 2012 年 6 月 30 日新源 M_s 6.6 地震,距离为 179km。本文通过对天山中段前兆钻孔应变观测数据进行分析来提取震前异常特征,以期为研究区未来的地震预测提供震兆信息。

1 台站分布及异常统计

天山中段共架设了 9 套钻孔应变仪器,均采用 RZB-2 型分量钻孔应变,其中,有 7 套为 2013 年中国地震局地壳应力研究所的援疆项目“新疆天山中段前兆台网建设项目”所架设,分别是新源、石场、榆树沟、呼图壁雀儿沟、小泉沟、巴仑台、库米什等分量钻孔应变,另外 2 套仪器为伊犁州地震局的援疆项目所架设,分别是尼勒克、巩留分量钻孔应变(图 1)。

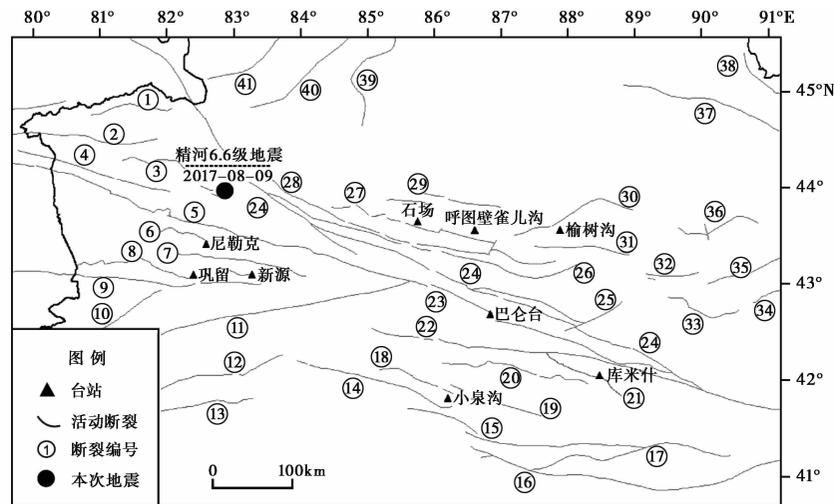


图 1 台站及活动断层位置

- ①阿拉套山南缘断裂;②别珍套断裂;③库松木契克山前断裂;④科古琴断裂;⑤伊犁盆地北缘断裂;⑥阿吾拉勒山北坡断裂;⑦阿吾拉勒山南坡断裂;⑧巩留南断裂;⑨乌孙山山脊断裂;⑩马热勒达什断裂;⑪那拉提断裂;⑫哈尔克山断裂;⑬库木格热木断裂;⑭霍拉山断裂;⑮辛格尔断裂;⑯兴地断裂;⑰库鲁克塔格断裂;⑱洪水沟断裂;⑲焉耆断裂;⑳焉耆盆地北缘断裂;㉑乌勇布拉克断裂;㉒包尔图断裂;㉓乌拉斯台断裂;㉔博罗科奴-阿克库都克断裂;㉕鱼儿沟-红山口断裂;㉖依连哈比尔尕断裂;㉗准噶尔南缘断裂;㉘亚马特断裂;㉙霍尔果斯-玛纳斯-吐谷鲁断裂;㉚雅玛里克断裂;㉛柴窝堡拗陷北缘断裂;㉜博格达南缘断裂;㉝火焰山南缘断裂;㉞红山-七克台南断裂;㉟大河沿-洛包泉断裂;㊱博格达北缘断裂;㊲卡拉麦里断裂;㊳北塔山前断裂;㊴克-乌断裂;㊵达尔布特断裂;㊶托里断裂

天山中段钻孔应变台站均为新架设台站,资料积累最长时间仅 3 年,目前来说,对于年变异常或趋势性异常尚无法作出明确判断。表 1 为观测仪器及震前异常统计表。由表 1 可知,在天山中段架设的 9 个分量钻孔应变观测项中,有 5 个观测项在震前出现不同程度的异常,经过对这 5 项异常进行核实分析发现,该异常变化可以排除周边环境、气象因素、仪器故障及人为因素等的影响,故认为该地震前兆异常较为可靠。所出现的 5 项异常均为短临异常,主要特征为压缩-拉张变化、变化速率改变、高频抖动畸变、规律性脉冲和周期性台阶等。

表1 观测仪器及震前异常统计

序号	台站	观测仪器	震中距/km	震前有无异常	异常特征	异常类型
1	尼勒克台	RZB-2 钻孔应变	65	有	压缩-拉张变化	短期
2	新源台	RZB-2 钻孔应变	102	有	压缩速率变快	临震
3	巩留台	RZB-2 钻孔应变	103	有	高频抖动	临震
4	石场台	RZB-2 钻孔应变	226	无		
5	呼图壁雀儿沟台	RZB-2 钻孔应变	293	无		
6	巴仑台台	RZB-2 钻孔应变	341	有	压缩速率变快	临震
7	小泉沟台	RZB-2 钻孔应变	352	有	压缩-拉张、脉冲、台阶	短、临
8	榆树沟台	RZB-2 钻孔应变	391	无		
9	库米什台	RZB-2 钻孔应变	484	无		

2 前兆异常分析

2.1 尼勒克分量钻孔应变

尼勒克 RZB-2 型分量钻孔应变于 2014 年 9 月完成安装和调试工作,2015 年 6 月开始正式连续观测,资料连续率完整,精度高,自仪器架设以来,工作状态稳定。观测台站基岩为中度风化砂岩,岩石成分以石英、长石为主,含少量云母。主测项探头位于井下 100m 处,同时安装钻孔水位、钻孔气压、钻孔温度辅助观测。利用自检原理,计算尼勒克分量钻孔应变 2016 年 1 月以来 1+3 和 2+4 分量的相关性,相关系数大于 91%,相关性较好,表明观测数据较为真实可靠。

尼勒克分量钻孔应变异常通常表现为曲线速率改变,2016 年 2 月 24 日~5 月 10 日,NE、NW 分量曾出现曲线速率改变现象,在曲线数据恢复正常 7 个月之后,发生 12 月 8 日呼图壁 $M_s 6.2$ 地震。此次异常表现为自 3 月 9 日开始 NE、NW 分量逐渐出现速率变快现象,且速率变化幅度较大(图 2)。NE 分量自 3 月 26 日开始压缩速率由之前的 1.25×10^{-9} /天变为 3.38×10^{-9} /天,6 月 18 日开始速率慢慢变缓,7 月 1 日基本恢复到正常速率。NW 分量自 3 月 9 日开始,压缩速率变快,由 0.47×10^{-9} /天变为 1.27×10^{-9} /天,5 月 3 日~6 月 20 日数据曲线由压缩转变为拉张,6 月 20 日之后数据曲线速率变缓,7 月 1 日基本恢复正常,精河 $M_s 6.6$ 地震发生在本次异常结束之后第 40 天。在此次快速压缩变化中,变化幅度最大的为 NE 分量,应变幅度为 224×10^{-9} 。分析认为,此次尼勒克分量钻孔应变四分量速率改变的异常是精河 $M_s 6.6$ 地震前的短期异常。

2.2 新源分量钻孔应变

新源 RZB-2 型分量钻孔应变 2014 年 7 月竣工,2015 年 6 月开始输出观测数据。观测台站基岩为粗砂岩、泥岩和砂砾岩,主测项探头位于井下 107m 的砂砾岩中,同时安装钻孔水位、钻孔气压、钻孔温度等辅助观测。利用自检原理计算新源分量钻孔应变 2017 年 1 月以来 1+3 和 2+4 分量的相关性发现,自检相关性较差。但该测项自有观测数据以来固体潮日变形态正常,因此认为,短期资料可以在一定程度上反映地下应力变化。

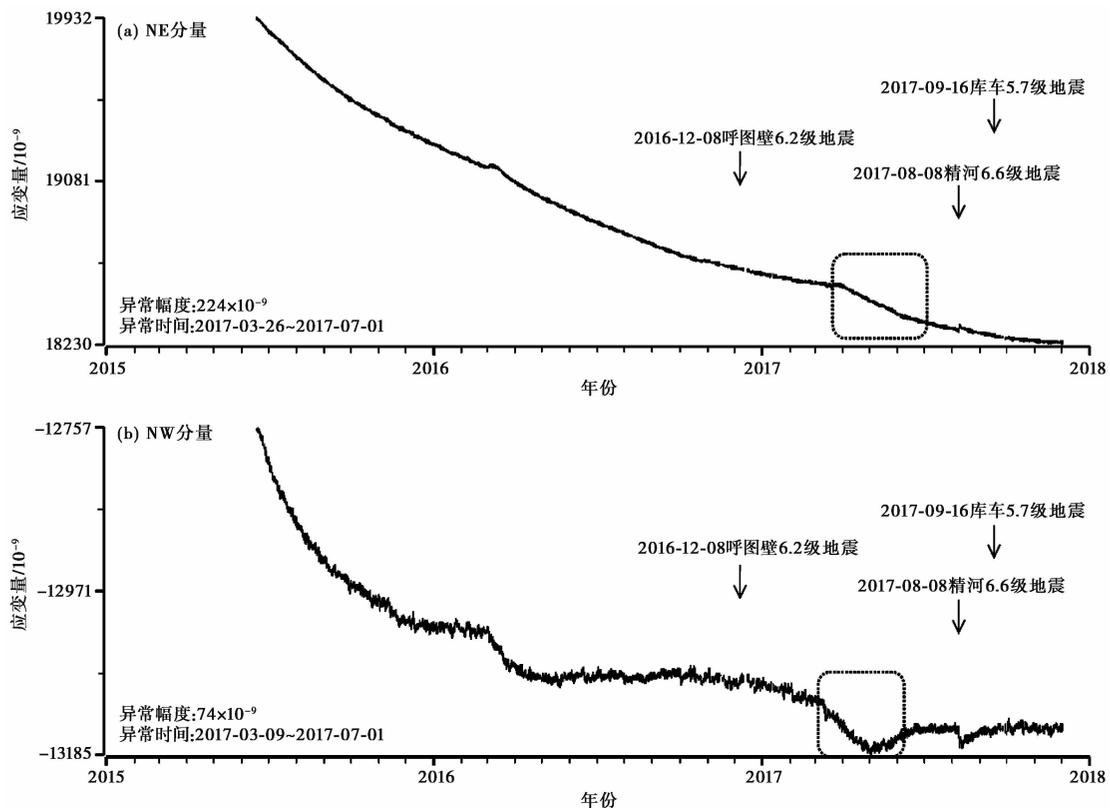


图 2 尼勒克分量钻孔应变整点值时序曲线

自 2017 年 8 月 1 日起,新源分量钻孔应变四分量出现同步变化(图 3),NS 分量由原来的拉张状态转变为压缩;EW 分量由原来的压缩状态转变为拉张;NE 分量出现台阶畸变和锯齿状高频抖动信息;NW 分量拉张速率发生改变,速率变缓。此次异常为四分量在同一时间发生不同的形态变化,异常发展到第 9 天发生精河 M_s 6.6 地震。分析认为,此次新源分量钻孔应变四分量的震前变化是精河 M_s 6.6 地震的临震异常。

2.3 巩留分量钻孔应变

巩留 RZB-2 型分量钻孔应变于 2014 年 9 月完成安装和调试工作,2015 年 6 月开始正式连续观测,资料连续率完整,精度高,自仪器架设以来,工作状态稳定,同时安装钻孔水位、钻孔气压、钻孔温度等辅助观测。利用自检原理计算巩留分量钻孔应变 2016 年 1 月以来 1+3 和 2+4 分量的相关性发现,自检相关性较差。但该测项自有观测数据以来,日变固体潮形态较好,故认为短期资料可以在一定程度上反映地下应力变化。

巩留分量钻孔应变 2017 年 7 月 13~17 日,EW、NW 分量几乎同步出现高频抖动信息,7 月 18 日以后基本恢复正常固体潮形态(图 4),该高频抖动信息出现在精河 M_s 6.6 地震前 27 天,可认为是此次地震的前兆异常。根据岩石力学实验,当地壳特殊部位上的应力-应变达到地壳的极限值而产生破裂面滑动之前,岩石内部存在非稳态破裂过程(张国民等,2001)。2011 年阿图什-伽师 5.8 级地震前,哈拉峻钻孔倾斜和乌什水管仪也观测到类似高频抖动信

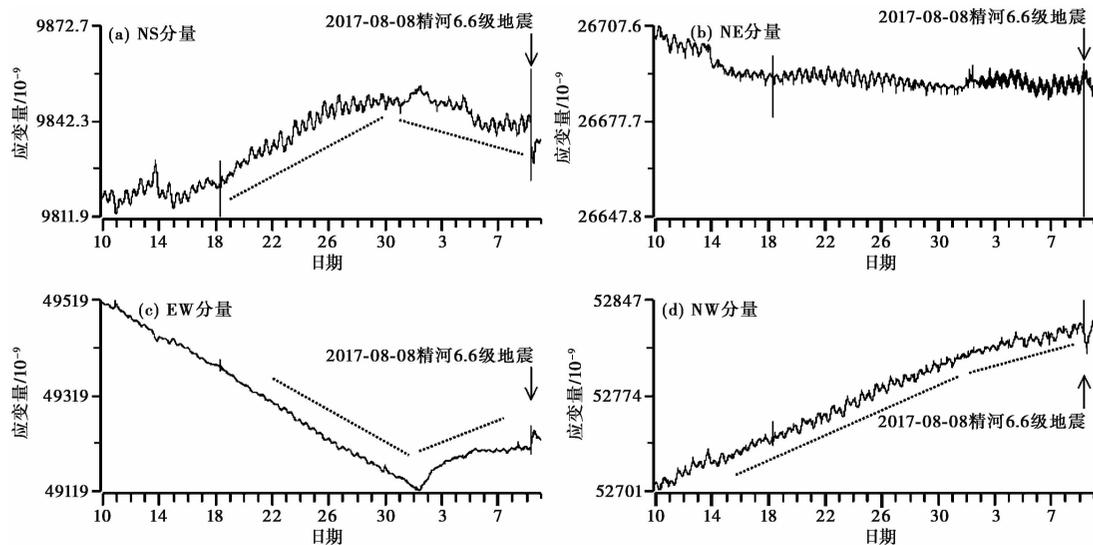


图3 2017年7月10日~8月9日新源分量钻孔应变分钟值时序曲线

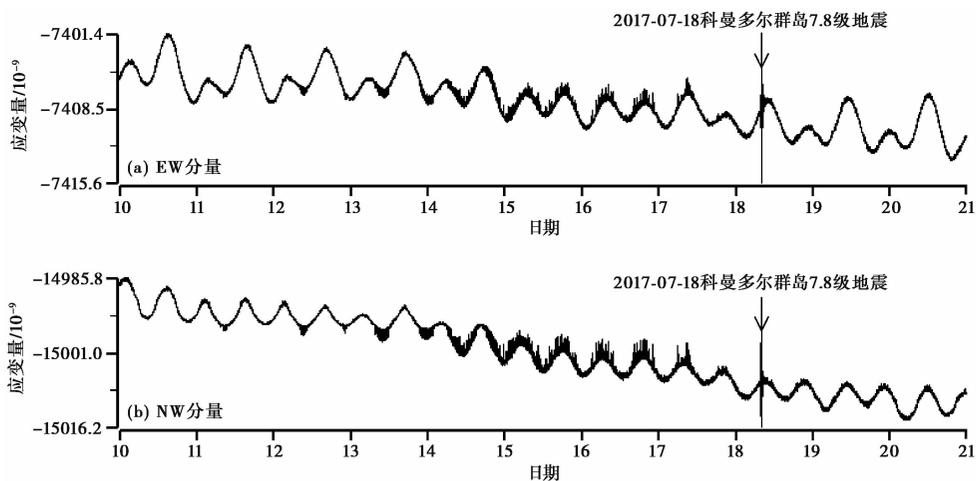


图4 2017年7月10~20日巩留分量钻孔应变分钟值时序曲线

息(张治广等,2016)。此次巩留分量钻孔应变EW、NW分量观测到的震前异常现象与岩石力学实验结果相吻合。

2.4 巴仑台分量钻孔应变

巴仑台RZB-2型分量钻孔应变2014年7月完成台站供电、通讯建设,并完成仪器安装和入网工作。观测台站基岩条件较好,为较完整的花岗岩或闪长岩,主测项探头位于井下156m的花岗岩中,同时安装钻孔水位、钻孔气压、钻孔温度等辅助观测。2015年8月~2016年10月,分量应变井下主传感器遭雷击,主测项数据不正常。2016年11月3日,经过更换数采、调试仪器等工作后,观测数据恢复正常。利用自检原理计算2016年11月以来巴仑台分量钻孔应变1+3与2+4分量相关性发现,相关系数为93.18%,相关性较好,表明该观测数据较为真实可靠。

图5为2016年11月~2017年12月巴仑台分量钻孔应变整点值时序曲线。如图5所示,2016年12月8日呼图壁 M_s 6.2地震之后,巴仑台分量钻孔应变资料发生短暂的调整,之后曲线形态恢复正常。2017年1~4月,巴仑台分量钻孔应变资料变化较为平稳;5月19日~7月30日,四分量同步出现拉张(压缩)速率改变,其中,NW分量最为明显,拉张速率基本停滞;7月31日开始出现快速压缩变化,截至8月8日,精河 M_s 6.6地震前一天,压缩幅度分别为 $NS3034 \times 10^{-10}$ 、 $EW1959 \times 10^{-10}$ 、 $NE2784 \times 10^{-10}$ 、 $NW2978 \times 10^{-10}$,NS分量幅度最大,EW分量幅度最小,但四分量变化幅度基本在同一量级,经异常核实,排除干扰的可能,故认为此次快速压缩变化属于震前异常。该巴仑台分量钻孔应变快速压缩短期异常自2017年7月31日开始至9月21日结束,持续51天,其间发生8月9日精河 M_s 6.6、9月16日库车 M_s 5.7地震,库车 M_s 5.7地震之后数据恢复正常。

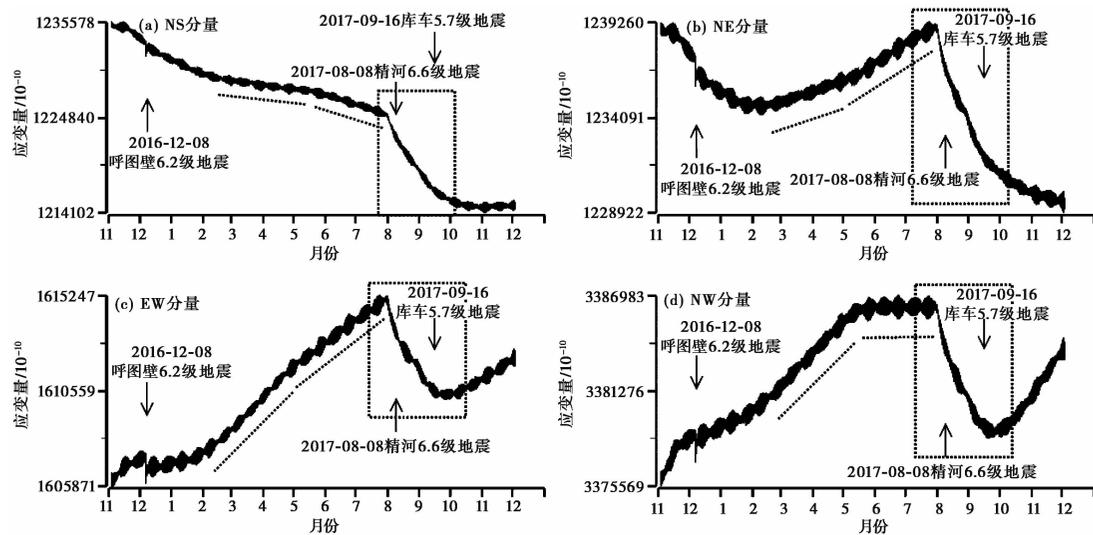


图5 2016年11月~2017年12月巴仑台分量钻孔应变整点值时序曲线

分析认为,巴仑台分量钻孔应变在精河 M_s 6.6地震之前出现对应性较好的短临异常,短期异常为5~7月四分量曲线速率发生改变,持续72天;临震异常为7月31日开始的快速压缩变化,发生在地震前9天,与地震的发生相对应,属于精河 M_s 6.6地震的临震异常。

2.5 小泉沟分量钻孔应变

小泉沟 RZB-2 型分量钻孔应变于2015年7月2日安装架设完成,观测台站基岩条件较好,为灰白色花岗岩,地表出露完整,主测项探头位于井下119m的花岗岩中,同时安装钻孔水位、钻孔气压、钻孔温度等辅助观测。2016年5月30日开始输出观测数据,资料连续率完整,精度较高,自仪器架设以来,工作状态稳定。利用自检原理计算小泉沟分量钻孔应变自有数据以来1+3与2+4分量的相关性发现,相关系数大于95%,相关性较好,表明该观测数据较为真实可靠。

前人对乌什台钻孔应变震前异常分析总结发现,在相对较大的地震发生前,钻孔应变异常变化特点可归纳为压应变增强,出现节律性,不稳定的张、压交替变化。2003年昭苏6.1级地震,1997、1998、2003年伽师地震,1993年若羌6.0级地震,1993年和静5.7级地震等多

次地震前均出现了速率异常的特征;1997、2003年伽师地震及2001年昆仑山口西8.1级地震前记录到了钻孔应变张、压交替的变化特征;1996年喀喇昆仑7.1级地震、2001年新青交界8.1级地震、1997年伽师强震群、2003年昭苏6.0级地震等多次6级以上地震前均发现节律现象(蒋靖祥等,2002、2003、2005a、2005b)。2008年汶川8.0级地震前,姑咱台钻孔应变出现长达13个月的周期性“压性脉冲”和“潮汐畸变”,脉冲出现的周期基本为数分钟或数小时(池顺良等,2009;邱泽华等,2009)。

此次小泉沟分量钻孔应变记录到的异常基本包含了前人总结的压应变增强、出现节律性、不稳定的张与压交替变化等异常特征,且在地震前17天NW分量周期性台阶变化突然消失,也被认为是地震临近的表现。分析认为,该钻孔应变测项对短期异常及临震异常均有较好的对应记录。

自2017年1月1日起,小泉沟分量钻孔应变四分量出现多次“压缩-拉张”变化,该变化于4月6日以后恢复正常,分析认为异常结束,持续96天(图6)。该异常变化大致可分为3个阶段(图7),第I阶段:1月1日~2月10日四分量多次同步出现快速“压缩-拉张”变化,形成下湾型图像;第II阶段:2月13、19、23日四分量同步出现压性脉冲现象,3月1日EW和NW分量又同步出现压性脉冲现象,脉冲间隔为6天左右,每次脉冲持续1~2天;第III阶段:3月4日以后四分量同步快速压缩,到4月6日基本恢复正常压缩速率。在此次异常过程中,异常变化幅度分别为NS 111×10^{-9} 、EW 74×10^{-9} 、NE 53×10^{-9} 、NW 118×10^{-9} ,其中,NW分量幅度最大,NE分量幅度最小。

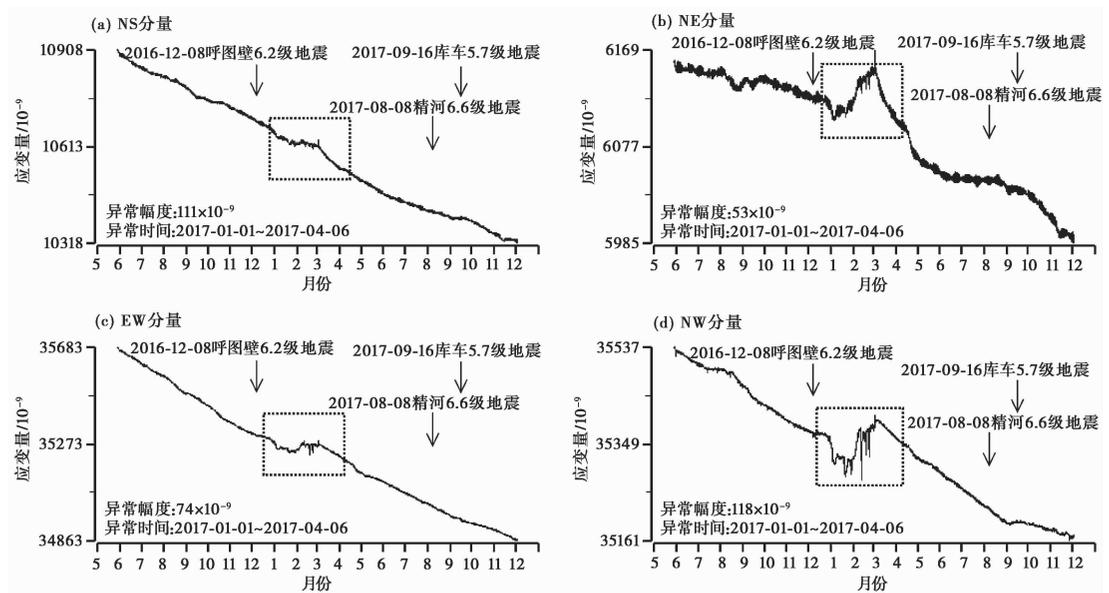


图6 2016年5月~2017年12月小泉沟分量钻孔应变整点值时序曲线

根据岩石力学实验,在拉张断层和挤压断层阶区内随应力的增加,断层未破裂之前会发生粘滑失稳。在粘滑失稳过程中,岩石标本表面的应变出现周期性台阶变化,但台阶的张-压性质随观测点位置的不同而不同(马胜利等,2008)。此次小泉沟分量钻孔应变NW分量

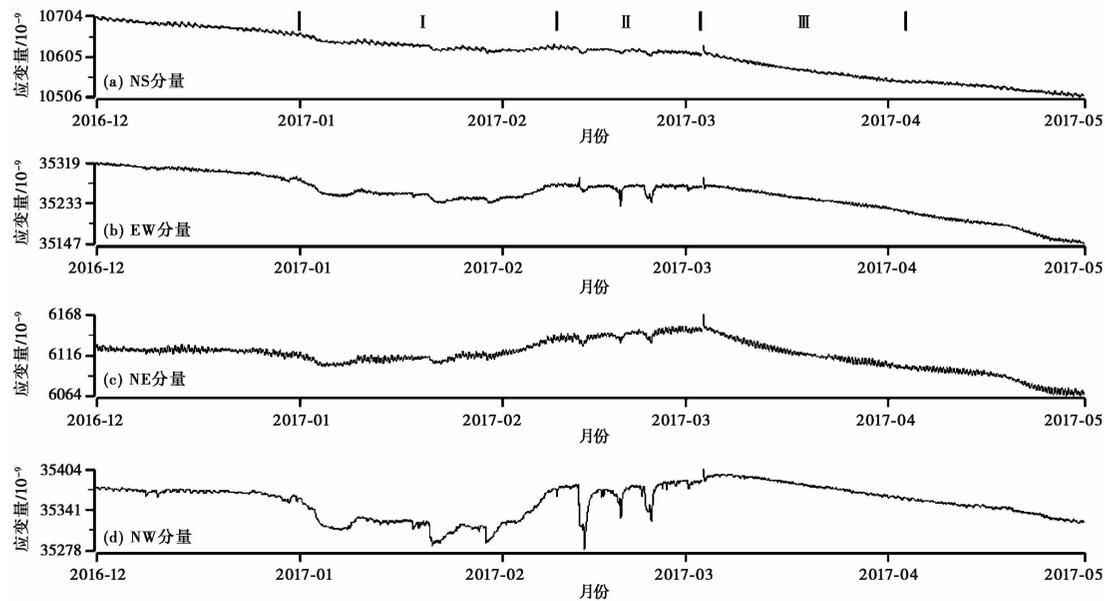


图 7 小泉沟分量钻孔应变异常阶段

自 2017 年 2 月中旬开始出现类似岩石力学实验的周期性台阶变化,笔者认为是对地下应力变化过程的一次很好的记录。

小泉沟分量钻孔应变异常的发展过程中,特别值得注意的是 NW 分量,它是异常变化幅度最大的分量,也是四分量中唯一在异常过程中固体潮日变形态发生持续周期性畸变的分量。自 2017 年 2 月中旬开始,小泉沟分量钻孔应变 NW 分量出现周期性压性台阶变化,变化周期在 2 月中旬约为 40min(图 8(a)),2 月底约为 60min(图 8(b)),到 3 月中旬变为 120min 左右(图 8(c)),再到 4 月底变为 150min 左右(图 8(d)),从 5 月 6 日开始,偶尔出现周期为 5h 左右的台阶变化(图 8(e)),5 月 21 日开始每日的规律性周期变化趋于不规律,在每日的变化中周期为 1、2、5h 的短周期变化均有存在(图 8(f)),当时猜测是地下应力作用失稳的表现,6 月 9 日压性台阶周期又开始变得有规律(图 8(g)),大约 2h 出现 1 次压性台阶,直到 7 月 22 日,这种周期性压性台阶变化自动消失(图 8(h)),固体潮形态恢复正常,因此认为,该小泉沟钻孔分量应变短期异常的映震紧迫性增加。而在此 17 天之后,即发生 8 月 9 日精河 $M_s6.6$ 地震,震中距该观测点 352km。

3 历史震例回顾

3.1 2016 年 12 月 8 日呼图壁 $M_s6.2$ 地震

天山中段钻孔应变台站自 2014 年架设以来,周边地区 6 级以上地震仅有 2016 年 12 月 8 日呼图壁 $M_s6.2$ 地震,在呼图壁 $M_s6.2$ 地震之前巴仑台分量钻孔应变和小泉沟分量钻孔应变均出现较好的短临异常。

2016 年 12 月 7 日 14 点 22~44 分,巴仑台分量钻孔应变四分量均记录到一压性台阶变化,该压性台阶持续 22min,压缩幅度分别为 NS 1375×10^{-10} 、EW 1167×10^{-10} 、NE 1379×10^{-10} 、

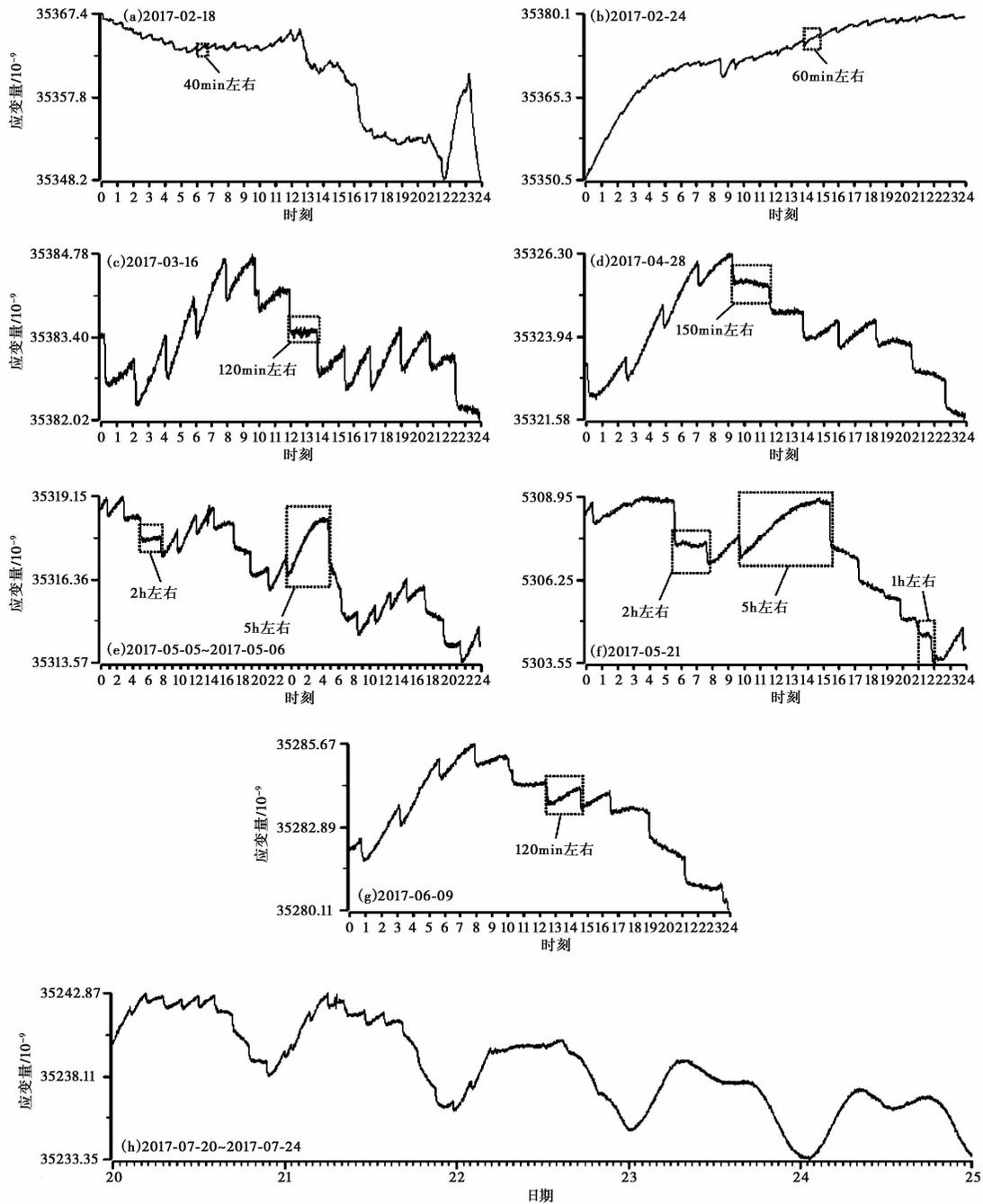


图8 小泉沟钻孔分量应变NW分量分钟值曲线

$NW1432 \times 10^{-10}$, 其中, NW分量幅度最大, EW分量幅度最小, 但四分量变化幅度基本在同一量级, 该异常发生在呼图壁 $M_s 6.2$ 地震前一天, 12月10日数据基本恢复正常形态, 分析认为, 该压性台阶是呼图壁 $M_s 6.2$ 地震临震异常, 震中距为 102km (图9)。

2016年7~10月, 小泉沟分量钻孔应变四分量出现不同程度的压缩-拉张现象, 四分量

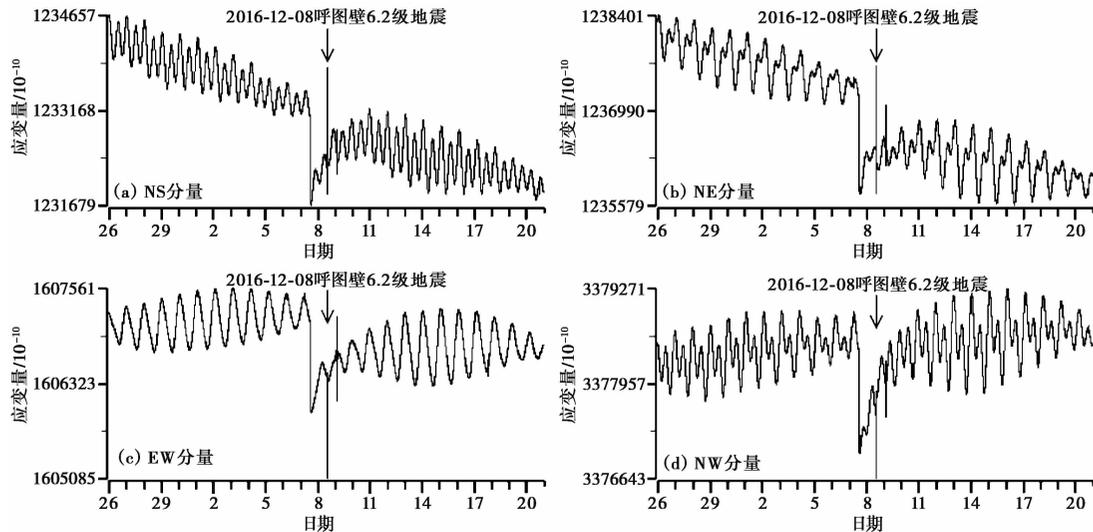


图 9 2016 年 11 月 26 日~12 月 20 日巴仑台分量钻孔应变分钟值曲线

异常开始时间、结束时间、异常幅度、异常形态及异常持续时间等均不相同(图 10), NS 分量异常幅度最大,为 69×10^{-9} ; NE 分量异常幅度最小,为 11×10^{-9} ; NW 分量异常持续时间最长,为 70 天; EW 分量异常持续时间最短,为 32 天。NS、EW 两个分量均有先压缩、后压缩速率变缓的现象; NE 分量为压缩-拉张交替出现; NW 分量则有先拉张、后压缩的现象。该异常结束后约 2 个月,发生 2016 年 12 月 8 日呼图壁 M_s 6.2 地震,震中距 195km。由于该资料自 2016 年 5 月 30 日开始积累,当时资料积累时间较短,该压缩-拉张异常变化未及时判定为异常,在地震发生后回顾分析时认为,该压缩-拉张变化应是地震前地壳应变失稳的表现。

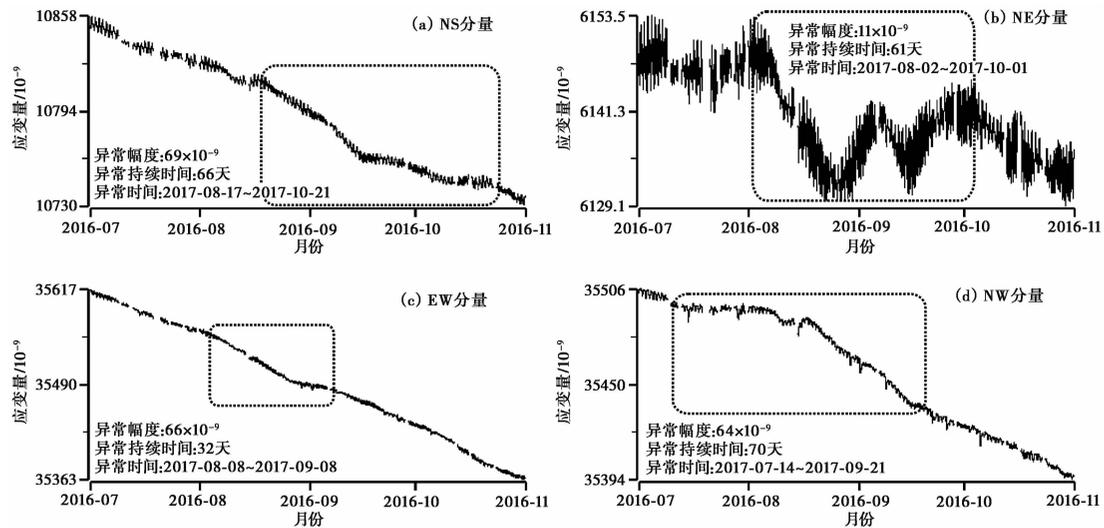


图 10 小泉沟分量钻孔应变呼图壁 M_s 6.2 地震前分钟值曲线

4 讨论和结论

经前人总结(蒋靖祥等,2000),钻孔应变异常从出现到发震最长时间为150天,最短为1天,绝大部分地震发生在3.5个月之内,未来震中方位一般发生在应变最大的元件方向,钻孔应变异常对于地震的短临预测具有一定的意义。

精河 $M_s6.6$ 地震震前分量钻孔应变异常较多,但在分析中发现,并非架设的所有分量钻孔应变均有异常,且异常分布与震中距关系不大,有些测项距地震震中较近却未出现异常,而有些测项距震中较远反而出现异常。作者从构造角度对该区域地质结构进行分析,在天山中段对本区域地质结构影响较大的主要是博罗科奴-阿其克库都克断裂,该断裂深切岩石圈,深度达100km以上,是古板块构造的分界线,走向呈NW-SE向,倾角较陡,为右旋走滑断裂,在境内长度约1000km以上。以博罗科奴-阿其克库都克断裂为界,在该断裂的西南侧所分布的中小断裂多以右旋走滑、右旋走滑兼逆冲为主,只有少数的逆冲断裂;在该断裂的东北侧大多数以逆冲断裂为主,仅在博罗科奴-阿其克库都克断裂附近有极为少数的右旋走滑断层。精河 $M_s6.6$ 地震震前出现的前兆异常全部分布在博罗科奴-阿其克库都克断裂的西南侧,且台站周边的断裂大多数是走滑断裂或走滑兼逆冲断裂,如小泉沟台附近的洪水沟断裂、焉耆断裂;巴仑台台附近的乌拉斯台断裂、包尔图断裂;尼勒克台附近的伊犁盆地北缘断裂;巩留台、新源台附近的乌孙山山脊断裂。而未出现震前异常的石场台、呼图壁雀儿沟台和榆树沟台均分布在博罗科奴-阿其克库都克断裂东北侧,且台站附近断裂均为逆冲断裂。

据前人研究,在地震孕育过程中,岩石块发生滞滑移动,以力链形式分布和传递(陆坤权等,2011),在走滑断裂中,应力沿断层走向方向传递;在逆冲断裂中,应力沿垂直于断层走向方向传递。以2016年呼图壁 $M_s6.2$ 地震为例,该地震为逆冲型地震,主压应力方向近NS向,与周边断裂走向基本垂直(刘建明等,2017)。天山中段断裂走向以NWW-SEE为主,在博罗科奴-阿其克库都克断裂西南侧大多数断裂为走滑断裂,应力传递方向理论上应与断裂走向一致,为NWW-SEE向,该方向与精河 $M_s6.6$ 地震震前异常出现的时间顺序在空间方向上具有一致性,震前异常最先出现在小泉沟台,随后向NWW方向发展,分别在尼勒克台、巩留台和新源台依次出现,最后又向NEE方向转移,出现在巴仑台台。分析认为,该异常的时空分布应该与应力传递的时空分布具有一致性,但是由于基岩条件、周边环境、断层性质等的差异,异常持续时间的长短也可能存在一定的差异。

通过对2017年8月9日精河 $M_s6.6$ 地震前钻孔应变异常特征进行分析,初步得出以下认识。

(1)此次地震发生前,在天山中段9套钻孔应变观测仪器中有5套出现震前异常现象,异常特征丰富,主要表现为短期异常和临震异常。异常特征主要表现为压缩-拉张变化、压缩速率变快、高频抖动信息、规律性脉冲及周期性台阶变化等。进一步分析异常特征发现,压缩-拉张变化主要表现为短期异常,规律性脉冲及周期性台阶变化夹杂到压缩-拉张变化之中;压缩速率变快及高频抖动信息主要为临震异常。

(2)在短时间内同一地区多套仪器准同步出现异常变化,可能是地下应力的调整过程。精河 $M_s6.6$ 地震之前,小泉沟分量钻孔应变于2017年1月1日最先出现异常,4月6日结束;尼勒克分量钻孔应变于2017年3月9日开始出现异常,7月1日结束;7月中旬至8月初

巩留分量钻孔应变、巴仑台分量钻孔应变和新源分量钻孔应变临震异常陆续出现。对于类短时间内多套仪器准同步出现的异常变化,在后续资料跟踪中应引起高度重视。

(3) 钻孔应变异常可以用“极大应变方向法”(蒋靖祥等,2000)判定未来震中位置,如果同一区域,多套钻孔应变在相近时间段均出现异常,则需要重点关注极大应变方向重合区域,并结合其他异常资料来判定未来地震可能发生的地点。精河 M_s 6.6 地震就发生在小泉沟分量钻孔应变最大应变 NW 分量方向和尼勒克分量钻孔应变最大应变 NE 分量方向延伸的重合区域。

(4) 此次地震震前异常均分布在博罗科奴-阿其克库都克断裂的西南侧,且异常周边断裂以走滑断裂或走滑兼逆冲断裂为主,异常出现的时间顺序在空间上与天山中段断裂走向基本一致,故认为该异常的时空分布应与应力传递的时空分布具有一致性。

参考文献

- 陈建波,2008,新疆地震构造特征研究,70~71,硕士学位论文,兰州:中国地震局兰州地震研究所。
- 陈建波、沈军、李军等,2007,北天山西段库松木楔克山前断层新活动特征初探,西北地震学报,29(4),335~340。
- 池顺良、池毅、邓涛等,2009,从 5.12 汶川地震前后分量应变仪观测到的应变异常看建设密集应变观测网络的必要性,国际地震动态,(1),1~13。
- 冯先岳、邓起东、石建邦等,1991,天山南北缘活动构造及其演化,见:《活动断裂研究》编委会,活动断裂研究(1),北京:地震出版社。
- 蒋靖祥、赖爱京,2005a,2003 年 12 月 1 日中哈交界 M_s 6.1 地震钻孔应变异常分析,四川地震,(1),24~28。
- 蒋靖祥、王在华、李川等,2003,新疆钻孔应变异常与强震活动,内陆地震,17(2),126~133。
- 蒋靖祥、尹光华,2005b,乌什台两次地震钻孔应变异常的对比研究,大地测量与地球动力学,25(3),91~95。
- 蒋靖祥、尹光华、哈斯高娃,2000,钻孔应变仪在地震前的记录及地震预测,地震研究,23(4),410~417。
- 蒋靖祥、尹光华、许风柱,2002,新疆和静 5.7 地震前钻孔应变异常及预报,四川地震,(3),21~26。
- 刘建明、向元、聂晓红等,2017,2016 年 12 月 8 日呼图壁 M_s 6.2 地震序列谱振幅相关系数和震源机制一致性研究,内陆地震,31(3),229~236。
- 陆坤权、厚美瑛、王强等,2011,地震前兆信息传播、分布及其探测原理,物理学报,60(11),1~10。
- 马胜利、陈顺云、刘培洵等,2008,断层阶区对滑动行为影响的实验研究,中国科学:D 辑,38(7),842~851。
- 邱泽华、周龙泉、池顺良,2009,用超限率分析法研究汶川地震的前兆应变变化,大地测量与地球动力学,(4),1~9。
- 王秋良、刘小利、李雪等,2015,新疆博州地区地震地质特征,大地测量与地球动力学,29(4),571~575。
- 张国民、傅征祥、桂燮泰等,2001,地震预报引论,北京:科学出版社。
- 张治广、徐衍刚、高歌等,2016,2011 年 8 月 11 日阿图什-伽师 5.8 级地震前兆异常分析,地震地磁观测与研究,37(4),80~87。

Borehole strain anomaly characteristics analysis before the Jinghe $M_s6.6$ earthquake on August 9, 2017

Zhao Binbin Gao Lijuan

Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

Abstract We use the morphological analysis method to analysis borehole strains' data in mid-range of the Tianshan Mountains. The results indicate that there are 5 borehole strains with anomalies in the total 9 borehole strains before this earthquake, which include 2 short-term anomalies and 3 impending anomalies. The anomaly characteristics are of tensin-compress feature, faster compression rate, high frequency information and regular pulse and periodic steps. If two or several borehole strains had anomalies at the same time, we should then pay more attention to the overlap area of maximum strain direction.

Key words: The Jinghe $M_s6.6$ earthquake; Borehole strain; Precursory anomalies; Spatio-temporal evolution