

钟骏、王博、周志华, 2018, 精河 M_s 6.6 地震前地下流体异常特征分析, 中国地震, 34(4), 754~764.

精河 M_s 6.6 地震前地下流体异常特征分析

钟 骏 王 博 周 志 华

中国地震台网中心, 北京市西城区三里河南横街 5 号 100045

摘要 对 2017 年 8 月 9 日精河 M_s 6.6 地震周边地下流体异常进行了分析和总结。结果表明, 距精河 M_s 6.6 地震震中 400km 范围内存在 7 项异常, 异常持续时间具有阶段性的特点, 以 1~8 个月的异常为主。异常在空间上分布不均一、不连续, 异常出现时间与震中距间的关系不明显。部分异常形态特征具有明显的重现性。结合前人的研究结果分析认为, 区域构造应力、应变的变化是异常出现的主要原因。

关键词: 精河 M_s 6.6 地震 地下流体 异常特征 异常成因

[文章编号] 1001-4683(2018)04-0754-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

据中国地震台网测定, 北京时间 2017 年 8 月 9 日 7 时 27 分 52 秒, 新疆维吾尔自治区博尔塔拉州精河县 (44.27°N , 82.89°E) 发生 M_s 6.6 地震 (以下简称精河地震), 震源深度约 11km。地震发生后, 震区周边包括乌鲁木齐、伊犁、博乐、克拉玛依、石河子、昌吉等在内的大部分地区有明显震感, 地震造成较大的经济损失。因此, 研究与该地震有关的异常现象, 可为今后地震预测和震情跟踪工作积累经验。

长期观测实践表明, 地震的孕育与发生离不开流体的作用 (杜乐天等, 1995; 刘耀炜等, 2006)。深部地下流体是影响地震孕育与发生的重要因素, 浅部的则是灵敏地反映地震孕育与发生过程的重要前兆信息载体 (Raleigh et al, 1976; Thomas, 1988; Roeloffs, 1998; 王博等, 2008)。据不完全统计, 中国历史地震资料中所记载的地震前兆异常现象中与地下流体有关的约占 50% 以上 (汪成民, 1990)。国内外许多研究者对地下流体地震前兆异常特征进行了大量研究, 得到许多有意义的结果。Montgomery 等 (2003) 通过研究不同空间尺度地表水和地下水对地震的响应特征发现, 地表水变化的响应范围距震中约数十至数百千米, 而地下水约为数百到数千千米。付虹等 (2008) 分析云南 $M \geq 5.0$ 地震前兆异常特征时发现, 趋势性异常转折结束、新突变异常增多是地震孕育进入短临阶段的标志。高小其等 (2012)、杨晓芳等 (2013) 对新疆及邻区 7 级大震前地下流体异常特征进行研究发现, 震级与异常持续时间和

[收稿日期] 2018-04-14; [修定日期] 2018-06-28

[项目类别] 中国地震局震情跟踪定向工作任务 (2017010311、2018010310) 共同资助

[作者简介] 钟骏, 男, 1988 年生, 硕士, 助理研究员, 主要从事地震地下流体研究。E-mail: zjadvance@126.com

王博, 通讯作者, 男, 1984 年生, 博士研究生在读, 高级工程师, 主要从事岩石物理实验和地下流体动力学研究。E-mail: wangbo313@163.com

分布范围间成正比;异常的时空分布总体上存在着由外围向震中迁移的现象。刘耀炜等(2015)总结鲁甸 6.5 级地震震前地下流体典型异常特征后提出,区域应力加载作用可能引起裂隙的开启和闭合,进而导致温泉和井水温、深部气体与承压井水位的持续变化。基于《中国震例》(张肇诚,1988;陈棋福,2008;蒋海昆,2014)研究发现,地下流体前兆异常的时空演化主要表现为“向震中收缩”“构造控制”“相对集中”等 3 种典型特征,震前异常在数量上主要表现为“持续增长”型和“先增后减”型 2 类,且以“先增后减”型居多(孙小龙等,2016)。

新疆地区活动断裂发育,构造运动强烈,强震与大震频发,是世界上大陆地震较为活跃的区域之一(冯先岳,1985)。北天山地区历史上曾发生过 1812 年尼勒克 8.0 级、1906 年 12 月 23 日和静 7.7 级、1944 年 3 月 10 日乌苏 7.2 级、1949 年 2 月 24 日轮台 7.3 级等地震(聂晓红等,2010)。通过总结精河地震前的地下流体异常,并对其可能的前兆机理进行初步讨论,可为今后该地区地下流体异常的判定及震情跟踪提供参考性依据。

1 发震构造及地下流体台站概况

精河地震震中位于北天山地区的库松木契克山前断层东段附近,该断裂东起基普克一带,向西经扫子木图沿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 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$,为全新世活动断裂,性质以逆冲为主,兼右旋走滑(冯先岳等,1991;陈建波等,2007)。

北天山地下流体监测点分布在乌鲁木齐以西、温泉县以东的广大地区,构造位于塔里木古板块与哈萨克斯坦-准噶尔古板块之间,晚更新世以来,区内强震与构造活动颇为活跃(卢静芳等,2002)。域内监测点分布相对密集,监测能力高于新疆其他地区,现有地下流体监测点 21 个,共 51 个测项,其中,水温测项 10 项,水位(及流量)15 项,化学(及其他)24 项,宏观 2 项。精河地震前出现并在震后确认的异常共有 7 项(图 1)。异常基本特征见表 1。

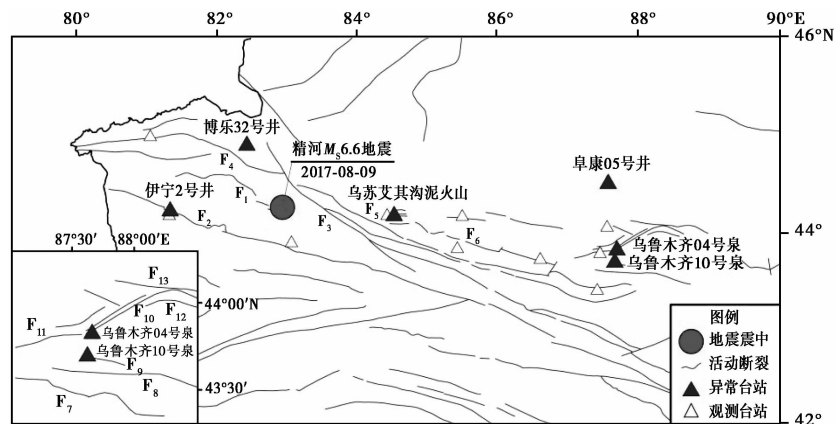


图 1 北天山地区地下流体异常和地震震中分布

F_1 :库松木契克山前断裂; F_2 :伊犁盆地北缘断裂; F_3 :博罗科奴-阿其克库都克断裂; F_4 :博尔塔拉隐伏断裂;
 F_5 :亚玛特断裂; F_6 :准葛尔南缘断裂; F_7 :柴窝堡坳陷南缘断裂; F_8 :柴窝堡坳陷北缘断裂; F_9 :红雁池断裂;
 F_{10} :雅玛克里断裂; F_{11} :西山断裂; F_{12} :二道沟断裂; F_{13} :阜康断裂

表 1 精河地震地下流体异常基本特征表

台站名称	测项	异常起始日期 (年-月-日)	异常结束日期 (年-月-日)	异常形态	异常幅度	震中距/km
乌鲁木齐 10 号泉	He 浓度	2017-03-28	2017-10-09	上升-下降	0.02% (V)	383
乌鲁木齐 10 号泉	Rn 浓度	2013-11-30	2016-12-31	破年变趋势性下降	10.32Bq/L	383
乌鲁木齐 04 号泉	H ₂ 浓度	2017-06-26	2017-09-24	高值突跳	0.147% (V)	384
阜康 05 号井	动水位	2017-06-19	2017-09-14	快速下降	5.96m	368
乌苏艾其沟泥火山	液面	2017-01-01	2017-09-17	—	大	127
伊宁 2 号井	断层氢	2017-07-23	2017-09-10	高值波动	45.8ppm	127
博乐 32 号井	静水位	2017-06-01	2017-08-03	年变畸变	—	80

2 前兆异常分析

2.1 乌鲁木齐 10 号泉 He、Rn 浓度

乌鲁木齐 10 号泉位于乌鲁木齐南部的柳树沟-红雁池断裂带与次级断裂交汇部位,泉口出露地层为二迭系砂泥岩、砾岩、灰岩夹少量油页岩(高小其等,2000)。He 浓度观测始于 1982 年,历史资料分析显示,乌鲁木齐 10 号泉 He 浓度异常一般出现在震前 4~5 个月,基本上遵循“背景值—上升—最高值—下降—恢复至背景值”的变化过程,具有较好的重复性(高小其等,2000)。该异常曾对应了 2011 年 11 月 1 日尼勒克 M_s 6.0、2012 年 6 月 30 日新源 M_s 6.6、2016 年 12 月 8 日呼图壁 M_s 6.2 等 6 级以上地震。

2017 年 3 月 28 日该泉 He 浓度测值由 0.029%(V)开始上升,至 4 月 20 日达到最高值 0.049%(V),累计变幅为 0.02%(V);之后在缓慢波动下降过程中发生精河地震,10 月 1 日开始下降速率加快,10 月 9 日基本恢复至正常水平(图 2)。

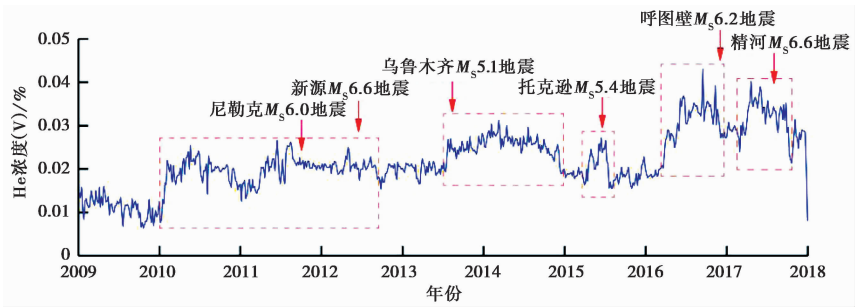


图 2 乌鲁木齐 10 号泉 He 旬均值时序曲线

自 1983 年以来水 Rn 资料有明显的“夏高冬低”年变特征,正常年变幅度为 4~10Bq/L。根据以往震例,中强地震发生前,Rn 浓度异常大多出现在 3 个月内,异常形态多样,包括阶升、大幅波动、趋势性下降和破年变等异常(张学敏等,2003;地里夏提·克尤木等,2008)。

2013 年 11 月 30 日该泉 Rn 浓度出现破年变趋势性下降变化,2016 年 2 月 28 日年变形态恢复正常,12 月 31 日趋势性下降结束,变化幅度达 10.32Bq/L,异常持续时间长达 1127 天,异常结束后第 221 天发生 2017 年 8 月 9 日精河 M_s 6.6 地震(图 3)。

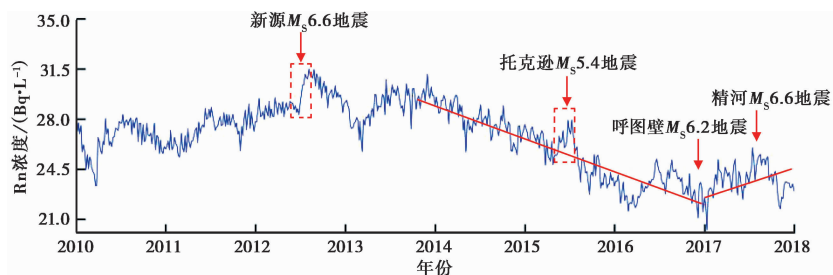
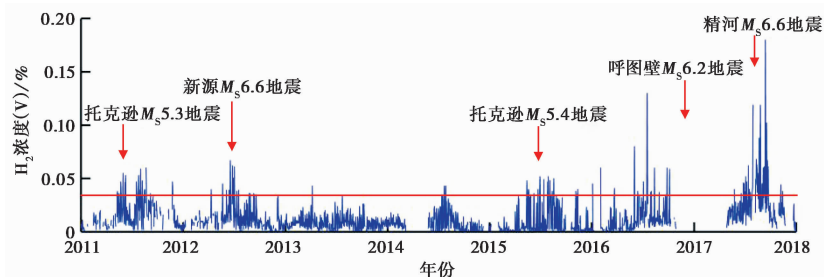


图3 乌鲁木齐10号泉 Rn 浓度5日均值时序曲线

2.2 乌鲁木齐04号泉 H_2 浓度

乌鲁木齐04号泉在构造上处于乌鲁木齐山前拗陷带水磨沟背斜北翼,NE向延伸的水磨沟-白杨南沟断裂与一近SN向分支断裂在温泉区交汇。含水层为二叠系油页岩、硅质砂岩层(李新勇等,2014)。 H_2 浓度观测始于1982年,历史震例显示, H_2 浓度异常多表现为高值突跳,最大异常量为背景值的10倍之多,且多在高值或高值转折恢复到背景值的过程中发震(韩桂红等,2017)。

2017年4月28日该泉检出 H_2 ,6月26日测值逐渐增大,偶有突跳,呈现出活动增强的迹象,7月27~31日, H_2 浓度连续出现大幅高值突跳异常变化(异常阈值线为0.033%(V)),8月9日震中距383km的精河县发生了6.6级地震,震后 H_2 浓度测值持续增大,至9月13日达到最大值0.18%(V),之后逐渐恢复,至9月24日异常结束(图4)。

图4 乌鲁木齐04号泉 H_2 日值时序曲线

2.3 乌苏艾其沟泥火山

乌苏艾其沟泥火山在构造上位于准葛尔南缘断裂与亚玛特断裂的交汇部位(高小其等,2015a)。从艾其沟泥火山所喷发的气体和水质等成分来看,气、液都来源于地壳深部(王海涛等,2014)。自2013年11月开始观测以来,在距其300km范围内,发生了多次中强以上地震,震前均出现了明显的“背景值—喷涌增大—减小—背景值”的宏观异常变化现象。

2017年1月1日该点出现液面上升,明显可见泥火山流出泥浆的痕迹,之后喷涌量不断增大,达到观测以来最剧烈的喷涌程度,这种现象持续至2017年8月9日精河 $M_s6.6$ 地震发生,地震后艾其沟泥火山仍在间歇性活动,直至2017年9月17日结束(图5)。

2.4 阜康05号井动水位

阜康05号井在构造上处于北天山博格达山山前拗陷带的古牧地背斜轴部,含水层为侏

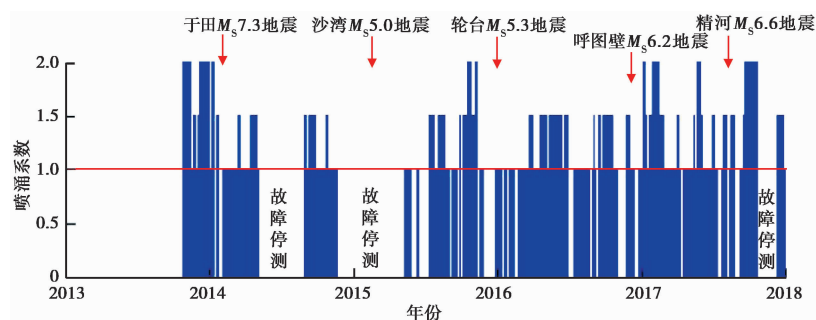


图 5 乌苏艾其沟泥火山喷涌量变化

相对平静为 0; 喷涌量小为 1.0; 喷涌量较大为 1.5; 喷涌量大为 2.0

罗系砂岩、泥岩和粉砂岩(高小其等,2001)。自 1978 年开始水位观测以来,该井多次在地震前(后)发生油井喷涌现象,最大喷射水柱高度可达 10m 以上,先喷后降,最大降幅超过 10m 以上。研究表明,井喷后 3~6 个月发震的可能性较大,其中,优势发震时间为 3 个月(高小其等,2006b)。

2017 年 6 月 19 日该井水位出现快速下降,26 日再次出现快速“上升—下降”变化并伴随大量气体释放,之后持续波动下降。因水位探头露出水面,7 月 25 日下放探头至泄流口下 7m 处,测值恢复正常波动变化,8 月 9 日精河 $M_s6.6$ 地震发生后下降速率进一步减缓,于 9 月 14 日结束,变化幅度达 5.96m(图 6)。

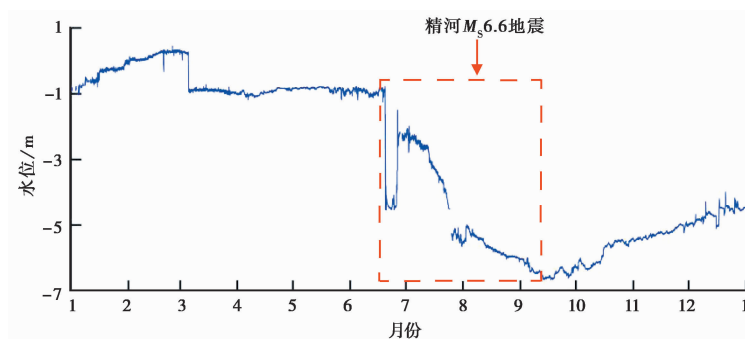


图 6 2017 年阜康 05 号井水位时值时序曲线

2.5 博乐 32 号井静水位

博乐 32 号井在构造上处于 EW 向延伸的博尔塔拉隐伏断裂附近。含水层为古生代晚期肉红色粗粒花岗岩(图 7)。该井自 2008 年 5 月正式用于观测,历史上无震例对应。2013 年该井资料正式录入前兆数据库以来,水位测值呈趋势性下降变化,至 2017 年 6 月 1 日出现年变畸变,开始转折上升,持续 63 天后于精河 $M_s6.6$ 地震发震前 6 天异常结束。

2.6 伊宁 2 号井断层氢

伊宁 2 号井是一个水位和水温综合观测点,在构造上处于伊犁盆地北缘断裂南部。含水层为石炭系棕红色粗面安山岩。断层氢观测点在该井综合观测点旁边,为 2017 年 2 月新增的观测手段,资料处于积累阶段。自观测开始,测值在 20ppm 背景值范围内波动,直至 7

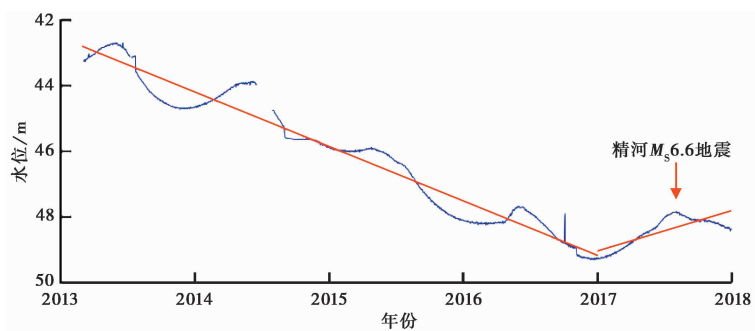


图 7 博乐 32 号井水位时值时序曲线

月 23 日开始出现高值波动变化,最大变幅为 45.8ppm,之后测值逐渐降低,精河 $M_s6.6$ 地震后 32 天恢复至背景值(图 8)。

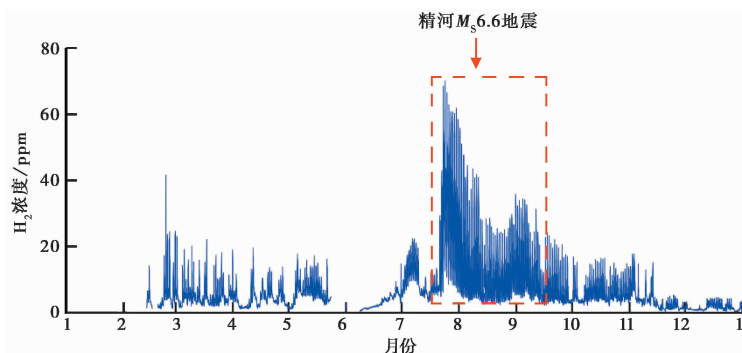


图 8 2017 年伊宁 2 号井断层氢时值时序曲线

3 异常特征分析

3.1 时间特征

从时间分布来看,震前地下流体异常以 1~8 个月的异常为主,出现异常的 7 个测项中有 6 个异常出现在 2017 年,约占 85.7%。异常的起始、结束时间具有阶段性,仅乌鲁木齐 10 号泉 Rn 浓度异常出现在震前 45 个月,结束于震前 8 个月,其他异常均出现在震前 8 个月内,且突出表现为震前 3 个月内的短期异常。除博乐 32 号井水位年变畸变异常在震前 6 天结束,其余异常震后才结束(图 9)。

3.2 空间演化特征

从空间分布来看,在距精河 $M_s6.6$ 地震震中 400km 范围内新疆地下流体监测测项共有 51 个,其中,7 个测项在震前出现异常,约占 13.7%,说明精河地震对应的异常项数较少。震前异常分布在距震中 150km 以内和 380km 以外,震中距为 150~380km 的其他流体监测点无异常出现,表现出空间分布的不均一、不连续性,且异常出现时间与震中距间的关系不明显,呈现一定的“场兆”效应(高小其等,2006a)。异常点所在的局部构造均表现出近 EW 走向的特点,反映出北天山地区 EW 向构造较为活跃,异常受断层走向控制明显。

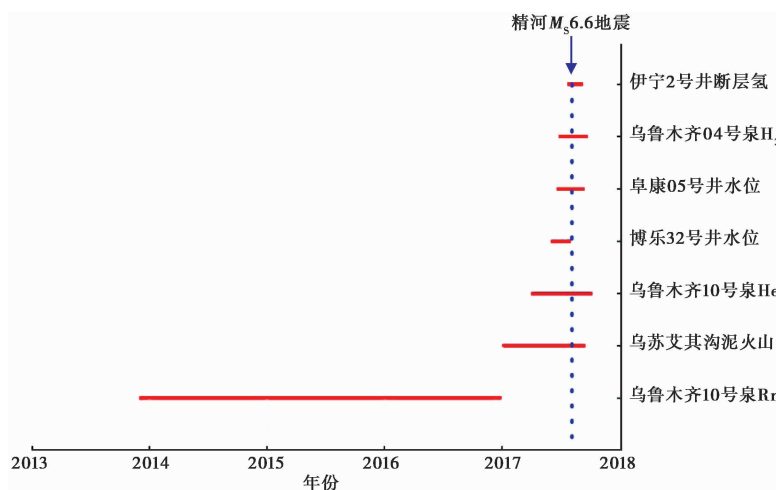


图9 精河地震前地下流体异常时间进程

3.3 形态特征

研究历史震例发现,异常形态特征具有明显的重现性。如乌鲁木齐新10泉He浓度(图2)在中强地震前多次呈现“大幅上升一下降”异常形态(高小其等,2002);乌鲁木齐04号泉H₂在中强地震前表现为高值异常,异常形态为突跳上升(图4);乌苏艾其沟泥火山(图5)在6级地震前喷涌量明显增大(王道,2000)。这3项异常在精河M_s6.6地震前出现同样的异常形态,对于地震的时、空、强判定有一定的指示意义。

博乐32号井水位、伊宁2号井断层氢异常属于观测以来首次出现的前兆异常,异常特征及震例信息有待积累。乌鲁木齐新10泉Rn浓度和阜康05号井水位异常虽然对应了此次精河M_s6.6地震,但该异常变化与以往震例异常的形态特征不同,其动态特征及异常成因有待进一步研究。

4 讨论

地震的孕育、发生一般被认为是震源区及其邻近区应力、应变的积累、释放的过程(梅世蓉等,1993)。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)。精河M_s6.6地震前,天山中段9套钻孔应变资料中有5套(分别为尼勒克、新源、巩留、小泉沟、巴仑台等分量钻孔应变)出现不同程度的前兆异常现象(图10),异常特征表现为压缩-拉张、压缩速率变快、高频抖动信息、压性脉冲及压性台阶等变化,这与岩石力学实验结果相吻合(赵彬彬等,2017),说明天山地区区域构造应力水平较高。

当地下应力、应变发生变化时,由于不同岩性含水层的弹性模量不同,地下水与地下深层气体的物理化学动态平衡状态被打破(李圣强等,1998;王博等,2017)。乌鲁木齐10号、04号泉所在位置断裂发育(图11),相互交汇,对周围应力变化反应灵敏。溶解气体在震前出现大幅度的异常变化,表明了孕震过程中的区域应力、应变过程使断层或岩石裂隙封闭性改变,促使深部富集的气体随深部地热水向地表浅部加速运移(鱼金子等,1998;Woith et al,

2013), 从而形成 He 、 H_2 浓度测值增大的异常。

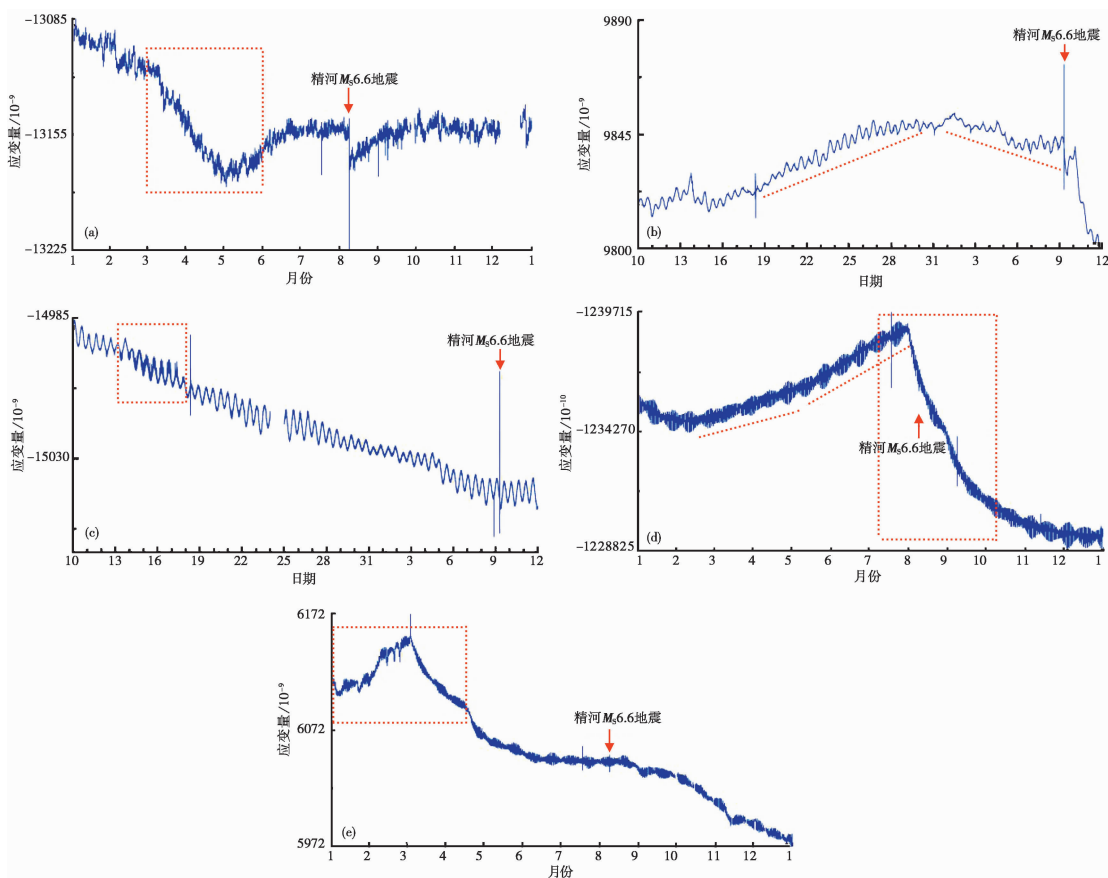


图 10 部分钻孔应变异常

(a) 2017 年尼勒克台钻孔应变 NW 分量; (b) 2017 年 7 月 10 日~8 月 12 日新源台钻孔应变 NS 分量; (c) 2017 年 7 月 10 日~8 月 12 日巩留台钻孔应变 NW 分量; (d) 巴伦台台钻孔应变 NE 分量; (e) 小泉沟台钻孔应变 NE 分量

泥火山是在特定地质构造及水文地质环境下产生的一种构造流体地质现象(王道, 2000)。当地层受到地下压力时, 比较松软的物质就会沿着裂缝或断层上升, 并在地下水或天然气的挟带下穿透地表喷出, 将携带的泥沙等溅落到地面, 形成泥火山(刘嘉麒, 2003)。北天山泥火山均处于背斜轴部, 背斜轴部岩层常常较为破碎, 有许多裂隙或断层, 为泥浆的上涌提供了通道(杨晓芳等, 2014)。在通常情况下, 泥火山喷发具有一定的准周期性, 当区域地壳构造应力不断增强时, 封闭构造中岩石的孔隙压力逐渐增大, 当压力达到泥火山喷发条件时, 泥火山就打破原有周期而重新活动, 这也是地震前泥火山活动增强的一个可能原因。但由于泥火山活动与地震间的关系可能相当复杂, 目前, 很难用某一种简单的模式对其加以总结或科学解释(高小其等, 2015b)。

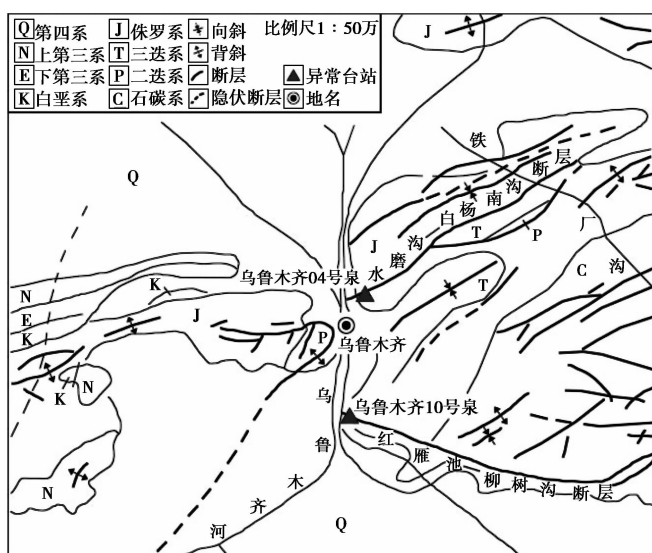


图 11 乌鲁木齐 04、10 泉地质构造 (据新疆维吾尔自治区地震局(2005)修改)

5 结论

对精河 $M_s 6.6$ 地震前地下流体前兆异常特征进行研究,并分析和讨论了异常成因,得出如下结论:

(1) 精河地震对应的异常项数较少,约占 13.7%。7 项异常中以震前 1~8 个月的异常为主,异常持续时间具有阶段性。

(2) 空间上,出现前兆异常的台站分布不均一、不连续,异常出现时间与震中距间的关系不明显。

(3) 异常形态特征具有明显重现性。乌鲁木齐 10 号泉 He 、乌鲁木齐 04 号泉 H_2 和乌苏艾其沟泥火山异常与以往震例的异常形态相同,对地震的时、空、强判定有一定的指示意义。

(4) 博乐 32 号井水位、伊宁 2 号井断层氢异常属于观测以来首次出现的前兆异常,异常特征及震例信息有待积累。乌鲁木齐 10 号泉 Rn 和阜康 05 号井水位异常虽然对应了此次精河地震,但该异常变化与以往震例异常的形态特征不同,其动态特征及异常成因有待进一步研究。

(5) 基于异常台站的基础资料,结合前人的研究成果分析认为,区域构造应力、应变的变化是深部气体逸出和泥火山喷涌的主要原因。

致谢: 本文在撰写过程中,得到了新疆维吾尔自治区地震局朱成英、张涛和梁卉的帮助,在此一并表示感谢。同时感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见。

参考文献

- 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.
 陈棋福,2008,中国震例(2000—2002),北京:地震出版社.
 地里夏提·克尤木、朱成英,2008,新 10 号泉水化学测项中强地震前兆异常特征的研究,内陆地震,22(1),89~96.

- 杜乐天、陈安福、王驹等,1995,地球的排氢作用,矿物岩石地球化学通报,**14**(3),193~195.
- 冯先岳,1985,论新疆地震地质特征,地震地质,**7**(2),35~44.
- 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.
- 付虹、李永莉、赵小艳等,2008,云南 $M \geq 5$ 地震震前异常的统计特征,地震研究,**31**(4),335~339.
- 高小其、陈华静、高国英等,2006a,新疆地下流体源兆、场兆、大震远兆特征的统计与分析,地震,**26**(2),83~94.
- 高小其、蓝陵、许秋龙等,2002,乌鲁木齐 10 号泉 He 含量变化的映震特征,四川地震,(3),27~31.
- 高小其、王海涛、郑黎明等,2015a,新疆泥火山群地震前兆异常实时监测与预报的研究,震灾防御技术,**10**(3),587~597.
- 高小其、王琼、朱成英等,2012,7 级地震前地下流体前兆异常特征及判定指标的研究,内陆地震,**26**(2),123~137.
- 高小其、许秋龙、李新勇等,2001,对新疆魏家沟 05 油气井在地震前后井喷的分析,华南地震,**21**(3),48~52.
- 高小其、许秋龙、张学敏等,2000,乌鲁木齐 10 号泉流体综合观测及映震灵敏性初析,内陆地震,**14**(3),243~251.
- 高小其、朱成英、高国英等,2006b,油气探井喷涌现象及其与地震的对应关系,地震地质,**28**(1),93~98.
- 高小其、朱成英、梁弁等,2015b,北天山地区泥火山地球化学成因研究,国际地震动态,(9),146.
- 韩桂红、滕海涛、麻荣等,2017,新疆沙湾 $M_s 5.0$ 地震与托克逊 $M_s 5.4$ 地震前兆异常分析,内陆地震,**31**(1),36~44.
- 蒋海昆,2014,中国震例(2003—2006),北京:地震出版社.
- 李圣强、杜建国,1998,氢、氦等气体地球化学在地震科学研究中的进展,地球科学进展,**13**(3),238~245.
- 李新勇、朱成英、李艳萍等,2014,新 04 号泉溶解气氢气异常特征分析,内陆地震,**28**(3),286~290.
- 刘嘉麒,2003,大地“沸腾”——泥火山,大自然探索,(8),8~9.
- 刘耀炜、陈华静、车用太等,2006,我国地震地下流体观测研究 40 年发展与展望,国际地震动态,(7),3~12.
- 刘耀炜、任宏微、张磊等,2015,鲁甸 6.5 级地震地下流体典型异常与前兆机理分析,地震地质,**37**(1),307~318.
- 卢静芳、王道、张元胜,2002,区域应力作用引起的北天山地区地下流体异常特征分析,地震地质,**24**(2),223~233.
- 梅世蓉、冯德益、张国民等,1993,中国地震预报概论,北京:地震出版社.
- 聂晓红、李莹甄,2010,2008 年 8 月 30 日和静 $M_s 5.6$ 地震序列及震前部分测震学异常分析,内陆地震,**24**(2),116~123.
- 孙小龙、王俊、向阳等,2016,基于《中国震例》的地下流体异常特征统计分析,地震,**36**(4),120~130.
- 王博、刘耀炜、孙小龙,2008,地下流体与断裂活动关系的研究综述,地震研究,**31**(3),296~302.
- 王博、周永胜,2017,氢气与断层活动及地震的研究进展,地球物理学进展,**32**(5),1921~1929.
- 汪成民,1990,中国地震地下水动态观测网,北京:地震出版社.
- 王道,2000,新疆北天山地区泥火山与地震,内陆地震,**14**(4),350~353.
- 王海涛、高小其、李志海等,2014,新疆 $M_s 6.0$ 和 $M_s 6.6$ 两次地震前近场泥火山宏观异常现象,地震学报,**36**(1),139~145.
- 新疆维吾尔自治区地震局,2005,新疆维吾尔自治区地震监测志,北京:地震出版社.
- 杨晓芳、孙小龙、张涛,2013,新疆及周边 7 级强震前地下流体异常时空演化特征,内陆地震,**27**(2),127~134.
- 杨晓芳、于红梅、赵波等,2014,新疆北天山泥火山固体喷出物特征及成因机制初探,地震地质,**36**(1),123~136.
- 鱼金子、车用太、张培仁等,1998,张家口 $M_s 4.2$ 地震前的地下流体异常,地震,**18**(4),405~409.
- 张国民、傅征祥、桂燮泰等,2001,地震预报引论,北京:科学出版社.
- 张学敏、蓝陵、李艳萍,2003,新疆乌鲁木齐地区多年水氡观测资料的统计与分析,内陆地震,**17**(3),259~267.
- 张肇诚,1988,中国震例(1966—1999),北京:地震出版社.
- 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.
- Montgomery D R, Manga M, 2003, Streamflow and water well responses to earthquakes, Science, **300**(5628), 2047~2049.
- Raleigh C B, Healy J H, Bredehoeft J D, 1976, An experiment in earthquake control at Rangely, Colorado, Science, **191**(4233), 1230~1237.
- Roeloffs E A, 1998, Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes, J Geophys Res, **103**(B1), 869~889.
- Thomas D, 1988, Geochemical precursors to seismic activity, Pure Appl Geophys, **126**(2/3/4), 241~266.
- Woith H, Wang R J, Maiwald U, et al, 2013, On the origin of geochemical anomalies in groundwaters induced by the Adana 1998 earthquake, Chem Geol, **339**, 177~186.

Analysis on Anomaly Characteristics of Underground Fluid Before the Jinghe ,Xinjiang $M_s6.6$ Earthquake in 2017

Zhong Jun Wang Bo Zhou Zhihua

China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract We summarized and analyzed the anomalies of the underground fluid associated with the Jinghe $M_s6.6$ earthquake on August 9, 2017. The results showed that there are 7 anomalies in the area of 400km around the epicenter, and the abnormal duration is periodical, mainly from 1 to 8 months. The anomalies are inhomogeneous and discontinuous in space, and the relationship between occurrence time of anomalies and epicenter distance is not obvious. Parts of anomalies have obvious reproducibility. Based on previous achievements, it is considered that the change of the regional tectonic stress and strain is the main reason of abnormal occurrence.

Key words: Jinghe $M_s6.6$ earthquake; Underground fluid; Anomaly characteristics; Genesis of anomaly