崔泽岩,张肖.地表流体变化对跨断层形变观测的影响[J].地震工程学报,2017,39(增刊):109-112.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.增刊.109

CUI Zeyan,ZHANG Xiao.Influence of Surface Fluid Changes on Cross-Fault Deformation Observations[J].China Earthquake Engineering Journal,2017,39(Supp.):109-112.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.109

地表流体变化对跨断层形变观测的影响①

崔泽岩,张 肖

(河北省地震局流动测量队,河北 保定 071000)

摘要:对易县台 2007—2012 年跨断层形变观测资料分析表明,降雨量及地下水位变化等引起的地表流体变化会引起点位的上升或下沉,这种影响表现出一定的季节性,并且与降雨量的多少(或地下水位变化)有关。当降雨量呈季节性变化时,水准观测值变化也会表现出相应的季节性变化;当地表流体呈现低值或不规律时,断层变形行为也会失去周期性,因此认为地表流体变化会引起断层变形。

关键词:跨断层形变观测;地表流体变化;断层变形行为

中图分类号:P315.25 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-0844(2017)增刊-0109-04

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.0109

Influence of Surface Fluid Changes on Cross-Fault Deformation Observations

CUI Zeyan, ZHANG Xiao

(*Mobile Survey Team, Earthquake Administration of Hebei Province, Baoding 071000, Hebei, China*)

Abstract: The cross-fault deformation observation data from the Yixian seismic station from 2007 to 2012 show that the surface fluid changes caused by rainfall and underground water level change will cause the subsidence and rise of point positions. This effect is seasonal and related to the amount of rainfall (or change in the underground water level). When the rainfall changes seasonally, the leveling observation values show corresponding seasonal changes. When the surface fluid shows low or irregular values, the fault deformation behavior will not exhibit cyclical change. As such, changes in the surface fluid will cause fault deformation behavior. The qualitative and quantitative analyses of these shallow layer anomalies are important for the determination of impending anomalies.

Key words: cross-fault deformation observation; surface fluid change; fault deformation behavior

0 引言

自地震断层成因学提出以后,断层位移与地震的关系受到了很多专家学者的关注。为了进一步了解产生地震断层力学过程,捕捉地震前兆异常,在我国的主要活动断裂带布置了许多跨断层形变观测线。跨断层形变观测所获得的信息有断层受力状态、断层运动方式和活动速率等,这些都与场地所处的地质构造环境有关,但是也包含了一定的干扰信息。因此在资料分析时,首先要认清跨断层场地的

① **收稿日期**:2017-04-01

作者简介:崔泽岩(1986-),男,河北保定人,助理工程师,主要从事流动地磁观测与分析预报工作。E-mail:56274871@qq.com。

干扰源和干扰特征，做出定性和定量分析，从而才能提取可靠的地震前兆异常信息。

断层带上的流体对于断层活动和大地震的发生起到了润滑的作用，深部流体的存在是地震孕育与发生的主要条件，但对浅部流体而言，通常认为是断层活动过程中的干扰因素。理论与实验研究表明，对于那些出露地表的断层来说，降雨和地下水（流体）对断层变形的影响是不可忽略的，其原因是，降雨通过断层带通道渗入断层带深部从而对断层活动产生影响。

国内外许多专家学者对跨断层形变观测干扰因素做过研究，均指出降雨和浅层地下水变化会对跨断层形变观测产生影响，但是流体的变化是形变观测中的干扰因素还是触发断层活动的“润滑剂”，还值得深入研究。本文利用易县台跨断层形变观测资料进行分析，研究地表流体变化与跨断层形变观测的关系[1]。

1 观测资料概况

易县台位于河北省易县县城西 15 km，处于太行山山前大断裂和西部紫荆关大断裂之间，跨断层短水准观测场地位于易县清西陵旅游区大红门附近，两个测段场地平坦，横跨北易水河，该河常年有水，测段场地的东西两侧为低山和丘陵，分别为震旦纪白云岩和太古纪片麻岩，测线两端点建于基岩之上。其中，东西向测线跨大红门隐伏断裂，南北向测线位于该断裂东侧。

跨断层水准观测所用观测仪器为 DiNi11 水准仪，所用标尺为钢瓦精密编码标尺，号码分别为 13 389、13 390，测线端点为铜制水泥浇筑基岩点，过渡点采用中国地震局铸铜质水准标志—水泥浇筑地面标志。易县台水准观测包括 3 个基点（图 1），基点 1 到基点 2 为 WE 向，测线长约 484 m，共 10 站，测段高差为 −3.347 m，基点 2 到基点 3 为 NS 向，测线长约 264 m，共 6 站，测段高差 1.032 m，每日观测任务为上午 W-E、N-S 为往测，下午 S-N、E-W 为返测。

2 观测数据分析

本文研究的地表流体变化主要是由降雨、灌溉抽水、地下水位变化等引起的。地表流体的变化可引起标石点位的上升或下沉，导致观测区出现明显的变化，就降雨而言，它与水准测值之间不是简单的线性关系，降雨当天对水准观测值影响并不是最大的，因为地表和标石基础从接受水分到膨胀变形需要有一个过程，并且每一个水准场地有一个驱动雨量，只有当降雨达到驱动雨量时，才能引起标石点位的明显变化。随着时间的推移，雨水蒸发与流失，影响又开始减弱[2]。

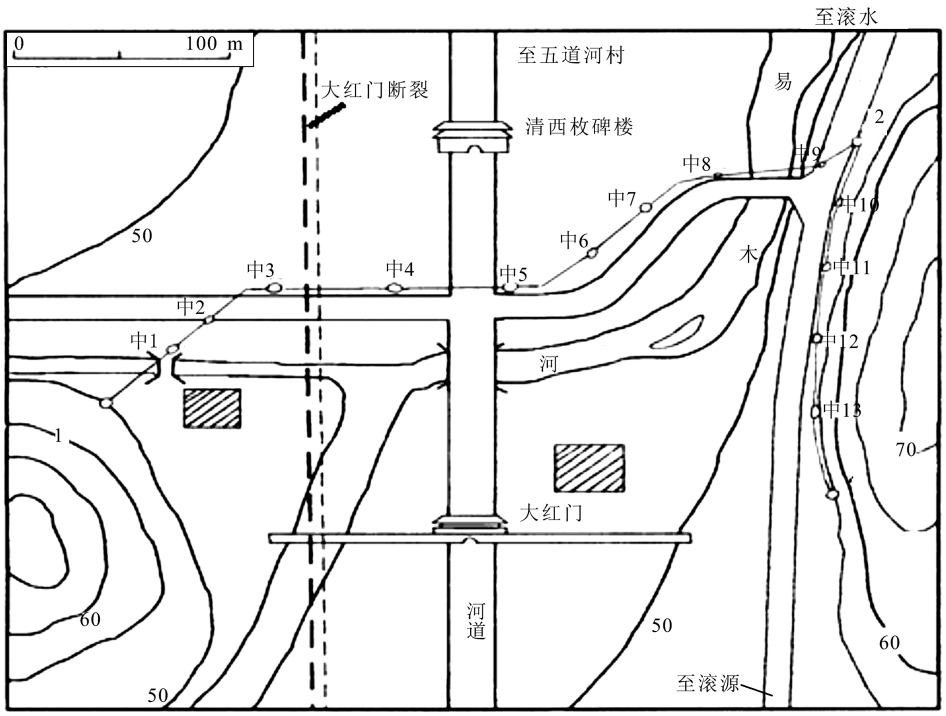

图 1 易县台水准场地测线布设图

本文所用降雨资料为易县台观测的日累积降雨总量，水位资料为台站院内体应变的钻孔水位，距离水准观测场地约 2 km。由于水准观测场地未布设钻孔水位观测，为了更好地体现降雨与水位的关系以及与地形变的关系，所以本文采用该钻孔水位进行分析。

2.1　降雨与地形变的关系

2012 年 7 月 21 日全国大范围内降雨，多处发生洪涝灾害，其中易县地震台观测到的日降雨量达到 113.3 mm，短水准观测场地附近的河流水位明显上涨，库容达到最高值。但是由图 2 观察发现，21 日短水准并未出现明显的变化，而是从 23 日开始，NS 向高差开始减小，到 25 日降到最低值，变化量达到 0.42 mm，WE 向到 27 日达到最高值，变化量为 0.21 mm。这表明水准观测值对降雨的响应是需要一定的过程，雨水缓慢入渗到地表和基点，基岩接受水分，开始慢慢膨胀，从而引起地形变，随着时间的推移，水分开始慢慢蒸发或流失，地表流体对地形变的影响又会慢慢减弱，这种情况也会表现出季节性的变化。

2.2　地下水位与地形变

易县台所处地区为温带季风气候，四季分明，每年 5－10 月雨水较为充沛，而到了 11 月到来年 4 月份，由于降水减少，水分蒸发，再加上春季抽水灌溉，地下水位明显下降。地下水位的季节性变化会对地壳形变产生一定的影响。

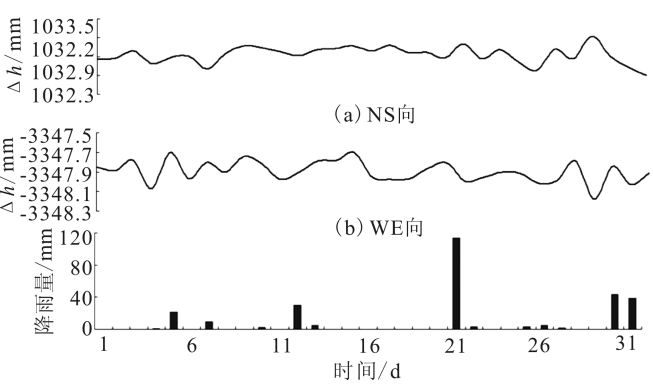

图 2　2012 年 7 月短水准高差与降雨量曲线图

分析图 3 发现，易县台短水准变化与降水及其引起的地下水位变化有十分密切的关系，并且表现出季节性变化。每年 5－10 月，降雨造成地表流体大幅度上升并达到最高值，与此相应，短水准 NS 向下降到最低值，WE 向则上升到最高值；雨季结束，即 9 月后，雨水逐渐减少，而且地下径流、蒸发等原因，水位缓慢下降，短水准数据也会规律性的反向变化，至来年 3－4 月份，水位下降到最低值，NS 向回到最高值，WE 向则回到最低值。同时发现，年降雨量多的年份，对水准的影响会比较大，2009 年 10 月－2011 年 3 月降雨量较小，水位变化比较平缓，短水准的总体变化也表现的不是很明显。

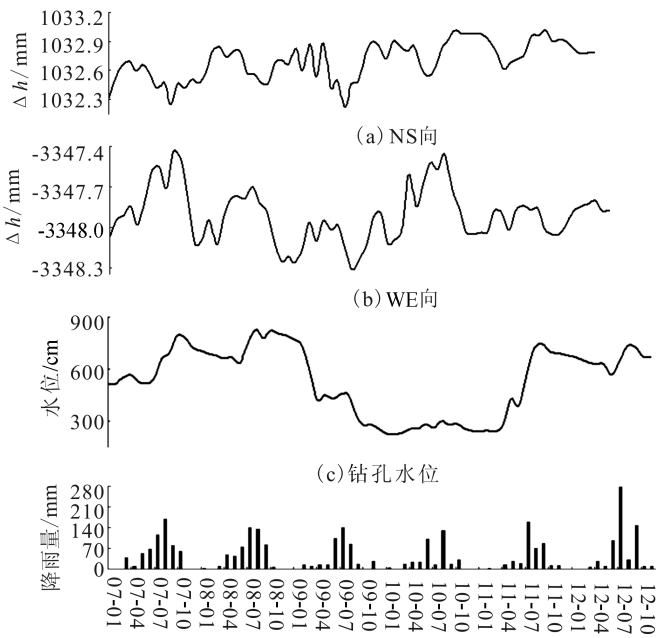

图 3　2010-01－2012-11 水准日均值、钻孔水位与降雨量曲线图

当地下水位上升，短水准 NS 向减小，N 点相对 S 点上升；WE 向变大，E 点相对于 W 点上升。由于 E 点和 N 点共用基点 2，则水位上升。基点 2 相对其他标石点位上升。这一现象同样印证了，当地表流体大幅增加时，水分通过慢慢渗透，进入标石附近的土壤和岩石，基岩接受水分，慢慢膨胀，使位于断层和河流东侧的基点 2 上升。

3　原理分析

降水等因素引起的地下水动态变化，实质上是太阳、大气圈及水圈向地球内部输入物质和能量的结果，降水、地下水动态变化也是一种作用于地壳（特别是浅层地壳）的附加外动力荷载。因而也可将加卸载响应比的原理运用到地下水与地形变的分析中，拟定出以地下水为加卸载手段的加卸载响应比方法[3]。

我们就易县台短水准观测与降雨引起的地下水位变化进行分析，在雨季，降雨后地下水位大幅度上升（变化幅度为ΔH^+）为加载过程，其结果致使短水准测值变化（幅度为Δh^+）（图 3）。两者的比值为加

载响应率：

$$R^{+}=\frac{\Delta h^{+}}{\Delta H^{+}} \tag{1}$$

雨季过后，地下水从最高值有规律的下降（幅度为ΔH^{-}）为卸载过程，短水准相应的变化幅度为Δh^{-}（图 3）。两者的比值为卸载响应率：

$$R^{-}=\frac{\Delta h^{-}}{\Delta H^{-}} \tag{2}$$

定义加卸载响应率比值为 P：

$$P=\frac{R^{+}}{R^{-}} \tag{3}$$

由表 1 可以看出，短水准的变化与水位的变化具有同步性，水位变化越大，地表流体荷载变化也越大。对水准测值影响也越大。同时可以发现，WE 向对水位的响应比 NS 向大，这是因为 WE 向跨过断层，而且测线横跨北易水河，地表流体荷载的变化引起断层两侧形变较为明显。

由此可以证明，地下水位变化可导致跨断层形变出现显著变化，其影响机理非常清楚。由于跨断层形变场地断层两侧岩性不同，标石深度不同等，当地下水位出现明显变化时，两标石间可能受到地下水位的影响程度不同，会出现先后的膨胀，或膨胀程度不一样，这样就导致观测高差变化较大。

4 结论与讨论

综上所述，地表流体变化与地形变相关，较少或较多的不规律的降雨可引起断层两侧的变形行为。降雨会引起断层带孔隙压力的增加，地表流体的荷载增大，从而引起地壳形变，但是当年降雨量低于一定值或非降雨季节，降雨对其变形行为的改变效果很微弱，由此可见降雨对断层带的变形行为方式有很大的影响。

表 1 短水准地下水加卸载响应比值

	序号	水位上升加载过程				水位下降卸载过程				加卸载响对比
		时间	水位上升幅度/a	短水准变化幅度/mm	加载响应率 R^{+}	时间	水位下降幅度/m	短水准变化幅度/mm	卸载响应率 R^{-}	
NS 向	1	2007-06－2007-10	2.77	0.41	0.148	2007-10－2008-06	1.57	0.59	0.37	0.39
	2	2008-06－2008-10	1.85	0.28	0.151	2008-10－2009-04	3.99	0.27	0.068	2.22
	3	2009-04－2009-08	0.29	0.05	0.172	2009-2008－10-04	1.98	0.66	0.33	0.52
	4	2010-04－2010-10	0.73	0.21	0.288	2010-10－2011-03	0.44	0.16	0.364	0.79
	5	2011-04－2011-09	4.63	0.37	0.08	2011-09－2012-04	1.12	0.40	0.357	0.22
WE 向	1	2007-07－2007-10	2.77	0.54	0.195	2007-10－2008-06	1.57	0.69	0.439	0.44
	2	2008-06－2008-10	1.85	0.43	0.232	2008-10－2009-04	3.99	0.56	0.14	1.66
	3	2009-04－2009-08	0.29	0.27	0.928	2009-08－2010-04	1.98	0.13	0.07	—
	4	2010-04－2010-10	0.73	0.60	0.822	2010-10－2011-03	0.44	0.42	0.96	0.86
	5	2011-04－2011-09	4.63	0.21	0.045	2011-09－2012-－04	1.12	0.21	0.19	0.24

地表流体的变化对断层变形行为的影响被认为是一种普遍现象。降雨通过改变地下水从而影响地壳浅部断层的变形行为，地下水的这种动态变化，可以促进与诱发浅层地壳的形变变动，甚至会派生或伴生出多种浅层前兆异常。地表流体的变化不仅可以引起水库、注液及抽液地震，而且有可能会参与某些构造地震的孕育和发生过程。由于地表流体具有分布广、难压缩性和迁移性等特点，所以能灵敏地反应浅层岩石的应力-应变变化，对于地表流体与地形变的相关性研究具有一定意义。

参考文献

[1] 黄辅琼，陈颙，白长清，等.八宝山断层的变形行为与降雨及地下水的关系[J]，地震学报，2005，27(6)：637-646.

[2] 楼关寿，周伟，金鹏，等.跨断层形变观测干扰因素的调查[J].大地测量与地球动力学，2010，30(增刊Ⅱ)：68-74.

[3] 王吉易，宋贯一，曹志成，等.地下水诱发的浅层前兆异常及其机理与有关的地震预报问题(3)[J].华北地震科学，2003，21(1)：1-10.

[4] 王吉易，宋贯一，曹志成，等.地下水诱发的浅层前兆异常及其机理与有关的地震预报问题(1)[J].华北地震科学，2002，20(2)：29-41.

[5] 王吉易，宋贯一，曹志成，等.地下水诱发的浅层前兆异常及其机理与有关的地震预报问题(3)[J].华北地震科学，2002，20(3)：1-13.

[6] 李志雄，吴邦素，高旭.大灰厂跨断层形变资料的地震信息识别[J].地震，1995，3：222-227.

[7] 黄建平，石耀霖，孙玉军，等.气温变化对唐山地震台跨断层形变观测的影响[J].中国地震，2012，28(2)：222-230.