

安庆 M_s 4.8 地震前肥东定点短水准异常提取*

洪德全^{1,2}, 王雪莹¹, 王行舟^{1,2}, 张 军¹, 李军辉¹

(1. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031; 2. 安徽蒙城地球物理国家野外科学观测研究站, 安徽 蒙城 233527)

摘要: 通过倾斜矢量法和垂直形变剖面图分析法, 对安庆 M_s 4.8 地震前肥东短水准数据进行了分析, 结果显示肥东台短水准数据在安庆地震前出现异常变化。对比分析了安庆地震与九江地震前肥东短水准异常形态的差异, 认为安庆地震和九江地震的震源机制不同, 震前应力积累在肥东台附近的不同类型可能是两次地震前肥东短水准异常形态不同的主要原因。

关键词: 安庆地震; 短水准; 肥东台; 倾斜矢量法; 垂直形变

中图分类号: P315.723

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)01-0006-06

0 前言

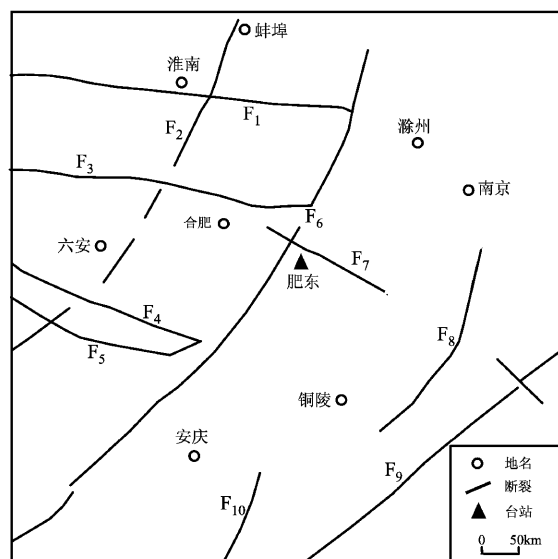
2011年1月19日, 在距离合肥140 km左右的安庆地区, 发生了 M_s 4.8 地震, 导致安庆地区大量房屋开裂, 合肥地区有明显震感。这次地震是自安徽省1979年固镇5.0级地震至今32年以来最大的一次地震, 引起了广泛的关注。本次地震不是发生在著名的郯庐断裂带上, 而是发生在宿松—枞阳断裂附近, 震中附近历史地震较少, 最近的一次是1963年怀宁山口附近发生的 M_s 4.5 地震。洪德全等(2011)用CAP方法反演2011年安庆 M_s 4.8 地震源机制解, 发现其方位角为北北东向, 并不是宿松—枞阳断裂的北东东向, 安庆地震可能是郯庐断裂带向南的一条隐伏分支断裂运动的结果。

为检验处在郯庐断裂带上, 距本次地震130 km处的肥东定点短水准数据对本次地震震前的构造应力变化是否有所反应, 本文利用短水准数据分析处理方法倾斜矢量法和垂直形变剖面图方法处理肥东定点短水准数据, 分析震前短水准数据变化情况, 并与2005年11月26日江西九江 M_s 5.6 地震震前肥东短水准的异常变化特征进行对比, 分析两次地震前肥东短水准数据异常变化特征的差异和原因。

1 肥东台基本情况

肥东台定点短水准测线位于安徽省肥东县桥

头集镇, 地处郯庐断裂带和桥头集—东关断裂交汇处(图1)。该断层自晚更新世以来曾发生过3次构造运动, 活动时代分别距今 (11.02 ± 0.55) 万年、 (9.53 ± 0.57) 万年和 (7.72 ± 0.46) 万年, 目前仍为活动断层(姚大全等, 2009)。肥东短水准测线从1985年开始观测, 1987年进行过一次改造, 自观测以来, 数据变化稳定可靠, 连续



F₁: 颍上—定远断裂; F₂: 土地岭—落儿岭断裂; F₃: 肥中断裂; F₄: 梅山—龙河口断裂; F₅: 晓天—磨子潭断裂; F₆: 郯庐断裂带; F₇: 桥头集断裂; F₈: 小丹阳—南陵断裂; F₉: 江南断裂; F₁₀: 宿松—枞阳断裂

图1 肥东台短水准测线位置分布图
Fig. 1 Distribution of the short leveling lines
in Feidong Station

* 收稿日期: 2011-02-21.

基金项目: 中国地震局震情跟踪合同制定向工作任务资助。

性好，总体受环境干扰较小（李志平等，2009），各测点分布见图 2。测线的西端点 A 点相对高程差的趋势变化较明显，主要原因是测 A 点附近从 20 世纪 80 年代末到 90 年代中期开采红砂，形成一个深约几十米，面积几千平方米的凹陷带，最近处离 A 端只有 3~4 m，A 点相对高程差的趋势变化与红砂开采有关。1991 年射阳 4.7 级地震和 1995 年苍山 5.2 级地震前，各点短水准数据相对 B 点的高程差都出现异常变化（王雪莹等，2003）。2005 年后各点相对 B 点的高程差都呈现下降趋势，2010 年短水准异常开始出现转折变化，具体表现为除 A 点外其余各点相对 B 点上升，而 A 点相对 B 点加速下降，该变化符合震前短水准异常变化特征（张跃刚等，2002）。

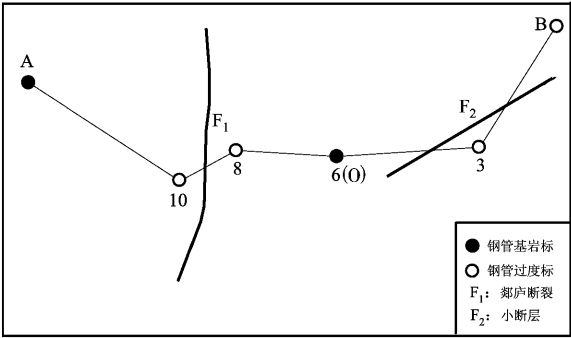


图 2 肥东短水准测线各测点分布示意图
Fig. 2 Distribution of each measuring points on the short leveling line in Feidong Station

2 数据处理方法

随着跨断层短水准数据日益增多，相应的分析方法也越来越多，这些分析方法主要集中在消除干扰和突出异常两个方面。一般采用周期滤波法或均值法以减少或消除环境干扰（陈绍绪等，1999）；小波分析方法目前在短水准数据分析中也得到较多应用（吴立辛等，2007；宋治平等，2003，2004）；点荷载叠加分析在排除异常等方面有较好的效果（李祖宁等，2007）。为了更清楚地识别异常变化，一般都采用垂直形变图法和地倾斜矢量法（谭金意，杨林章，1998），垂直形变图法可以直观反映出测区地壳的垂直形变状态，地倾斜矢量法则是把观测到的高差变化转换成地面倾斜变化，还可以进行多台站的综合分析。笔者主要采用垂直形变剖面图法和地倾斜矢量法分析

肥东短水准异常变化情况。

2.1 垂直形变剖面图法

在台站定点水准和流动水准测量中，通过对各测线进行重复观测来确定测线上各水准点的垂直位移。从垂直形变图可以及时、直观地了解各水准点的垂直位移，判断沿测线方向的中长期地壳垂直形变趋势。如图 3 所示，以各点高程 H_i 为纵坐标，各点距水准端点的距离 S_i 为横坐标，进行点图并连成实线。复测后将各点高程 H'_i 再标到图 3 上，并用虚线连接，可得到根据高程变化绘制的垂直形变剖面图。从图上可以看出各点的高差变化并不相同，这是测量误差及地壳垂直形变综合影响的结果。为了更直观显示各点高程变化情况，一般以测线的 1 个端点作为不动点，假设 1 号点作为不动点，令其高程 $H'_1 = H_1$ ，然后推算复测后的其他各点的高程 H''_i 。在图 3 中，只要将曲线 $1'-2'-3'-4'$ 向下平移，直至 $1'$ 点与 1 点重合为止，平移后的曲线 $1''-2''-3''-4''$ 上各点的坐标就是这些点的高程 H''_i 。各水准点的纵坐标之差就是高程复测前后的变化值 ΔH_i ，其中以第一次观测结果为基值。

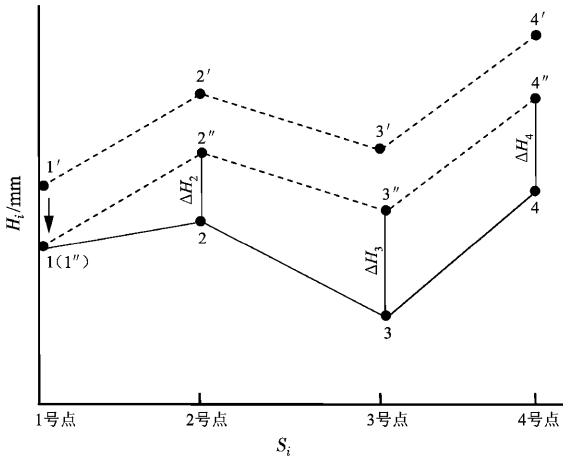


图 3 由高程变化绘制的垂直形变剖面图
Fig. 3 Profile of the vertical deformation according to the altitude variation of each observation point

2.2 地倾斜矢量法

重复进行水准观测，可以观测到沿测线方向的地面的垂直形变，在地表的局部范围内认为这种形变就是地面的倾斜。台站水准线一般都布设成相交的、至少有两条不同方向的测线。如图 4 所示，A、B、C 为 3 个水准点，以 C 点作为基准点，

测出 A 点和 B 点的高差 Δh_A 和 Δh_B , 将 A 点移至 A' 点, B 点移至 B' 点。由 CAB 构成的平面 M , 由 $CA'B'$ 构成的平面 M' 。地面倾斜的大小, 就是 M 和 M' 之间的夹角, 也就是方向矢量 N 和 N' 之间的夹角。以 C 点为原点作空间直角坐标系, CX 轴指向东, CY 轴指向北。设地倾斜变化前 A 、 B 点的坐标分别为 $A(a_1, a_2, a_3)$ 和 $B(b_1, b_2, b_3)$, 变化后 A 、 B 点坐标变为 $A'(a_1, a_2, a_3')$ 和 $B'(b_1, b_2, b_3')$, α_0 是 CB 边的方位角, θ 是 CB 和 CA 间的夹角。由于 N 是由 CA 、 CB 所决定的平面的法向矢量, N 必须垂直于 CA 和 CB , 因此由矢量积公式可得:

$$N = CA \times CB,$$

$$|N| = |CA| \cdot |CB| \cdot \sin\theta = D_1 \cdot D_2 \cdot \sin\theta. \quad (1)$$

同理可得:

$$N' = CA' \times CB',$$

$$|N'| = |CA'| \cdot |CB'| \cdot \sin\theta = D_1 \cdot D_2 \cdot \sin\theta. \quad (2)$$

此处认为地面倾斜后 CA 、 CB 的长变化很小, $|CA'| = |CA|$, $|CB'| = |CB|$ 。经过公式推导 (这里省略) 可得到地面的倾斜矢量 ΔN

$$\Delta N = N' - N = [a_2(b'_3 - b_3) - b_2(a'_3 - a_3)]i + [b_1(a'_3 - a_3) - a_1(b'_3 - b_3)]j + 0k, \quad (3)$$

即:

$$\Delta N = (a_2\Delta h_B - b_2\Delta h_A)i + (b_1\Delta h_A - a_1\Delta h_B)j + 0k. \quad (4)$$

式中, $z=0$ 表示 Δn 在 XCY 平面内, Δn 的指向代表了平面 M' 相对于平面 M 的倾斜方向。 Δn 与 Y 轴的夹角就是地面倾斜的方位角。

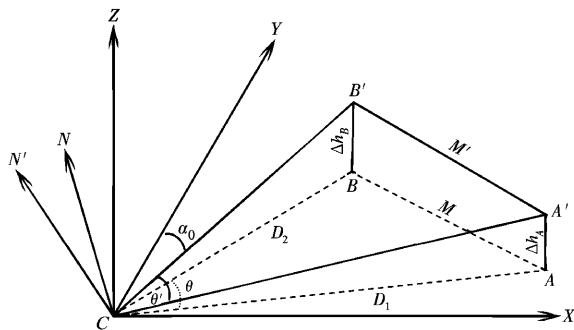


图4 地面倾斜示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the ground surface tilt

3 数据处理

肥东短水准测线为跨庐断裂带测线, 如图2所示。3号点、8号点和10号点是钢管过度标, 从B号点到A号点每天往返测量一次。图5显示了以B点为参考点, 得出其他各测点相对B点自观测以来的高差变化情况。A点、O点和B点是钢管基岩标, 变化相对可靠, 其中BO段变化幅度最小; 而2002年之前BA段高差下降趋势与红砂开采有关(王雪莹等, 2003), 红砂开采对A点的影响到2002年前后基本结束。2003年后BA段高差变化基本稳定, 因此本文对肥东短水准分析主要采用2003年之后的数据。以B、A和O点连线为三角形, 用倾斜矢量方法计算三角形AOB的倾斜变化情况, 其中以O点作为不动点, AO段和BO段作为三角形两边, 即D1和D2, 用AO段和BO段的数据变化分析平面AOB的倾斜情况。

首先计算月均值, 以每年7月份的月均值作为该年的参考值, 如2004年相对2003年的变化可用2004年7月份月均值减去2003年7月份月值得到。2003年为起始点, 以后每年相对于上一年平面AOB的倾斜变化矢量, 如图6所示。平面AOB在2004年相对2003年向NNW倾斜, 倾斜量较大; 2005年基本延续了2004年的变化, 2005年11月26日在庐断裂带南段发生九江 $M_s5.7$ 地震。之后, 2005~2009年该平面倾斜变化量较小, 且变化方向总体以EW方向为主。而2009~2010年变化矢量较前几年发生较大变化, 与2004~2005的年变化幅度相似, 但倾斜方向相反, 在2011年1月19日发生安庆 $M_s4.8$ 地震。

用垂直形变剖面图方法分析各观测点的变化情况。为了更清楚的展示每年观测点变化, 将2004~2010年变化分成两部分(图7)。其中, 图7a是2004~2007年的变化; 图7b是2007~2010年的变化。2003~2007年, A点和O点相对B点变化比较稳定, 而8号点和10号点变化较大, 主要因为这两点是钢管过度标, 受干扰较大。2007~2009年O点和A点仍然比较稳定, 而到2010年后, A点突然加速下降, 2011年1月发生安庆 $M_s4.8$ 地震。由于8号点和10号点受自然降雨等干扰影响明显, 不能确定是否为异常, 而A点是钢

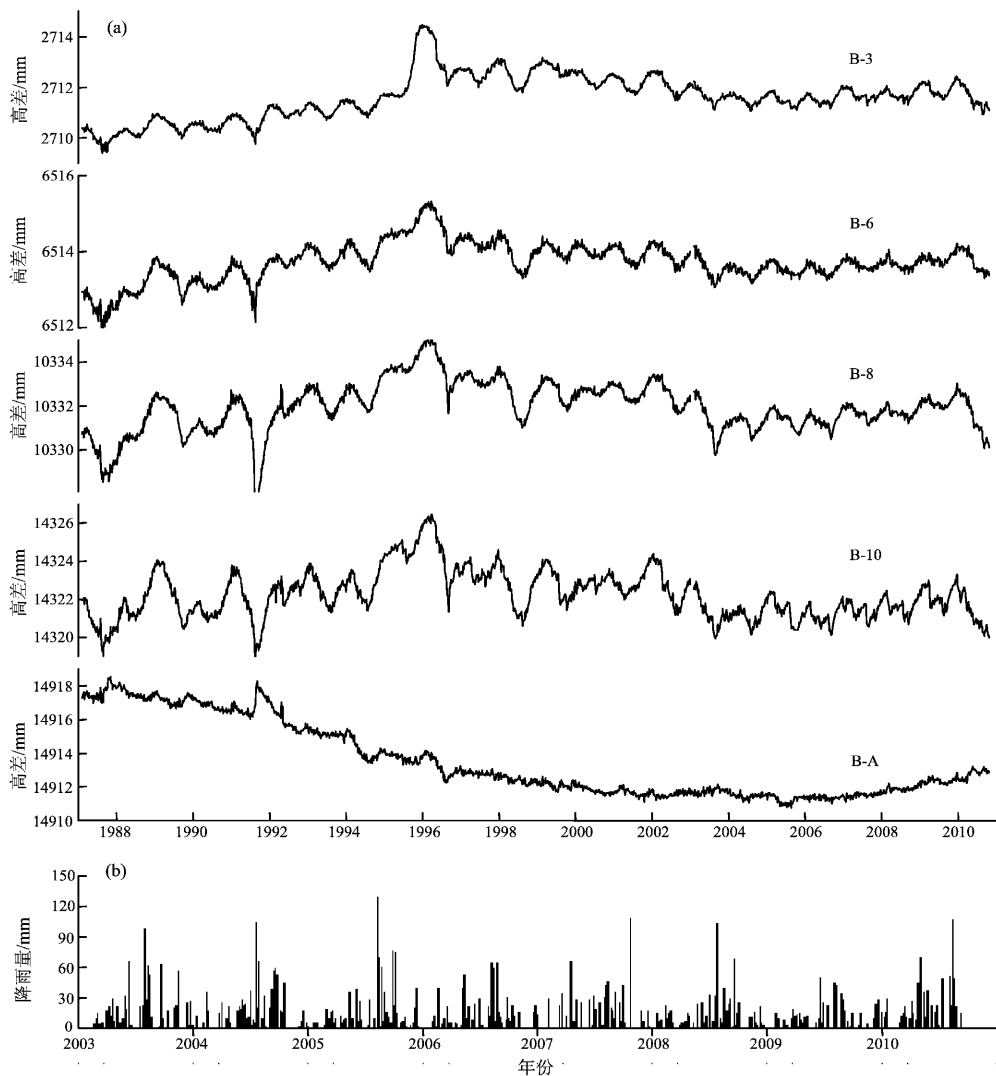


图 5 肥东短水准各测点相对 B 号点高程变化图 (a) 和降雨量图 (b)

Fig. 5 Height variation (a) of each measuring point relative to B point on the short leveling line in Feidong Station and rain fall (b)

管基岩标，受降雨影响较小，数据变化可靠。

4 讨论与结论

分别用倾斜矢量法和垂直形变剖面图法分析了 2003 年以来肥东短水准的变化情况，结果显示 2009 ~ 2010 年安庆地震前肥东短水准在平面 AOB 的倾斜变化矢量出现明显异常。笔者注意到本次变化与 2005 年九江 $M_s5.7$ 地震前 2004 ~ 2005 年的倾斜变化矢量方向相反，而两次地震都在肥东形变台的西南侧。2005 年九江 $M_s5.7$ 地震是走滑型地震，可能是由瑞昌盆地内的一条 NW 向隐伏断层活动引发的 (吕坚等, 2008)。2011 年安庆 $M_s4.8$ 地震是北北东向逆冲型地震，对于发震断层的讨

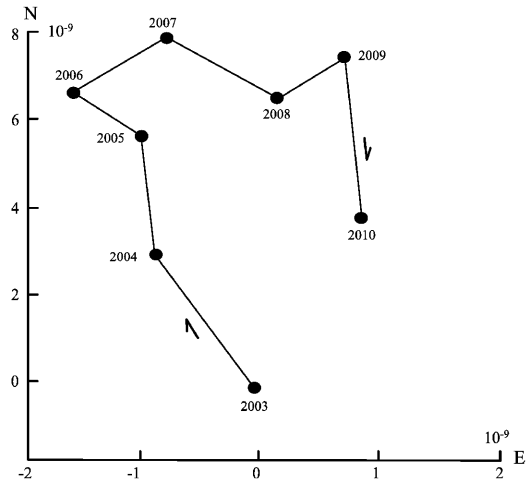


图 6 倾斜矢量法处理结果

Fig. 6 Processing result of tilt vector method

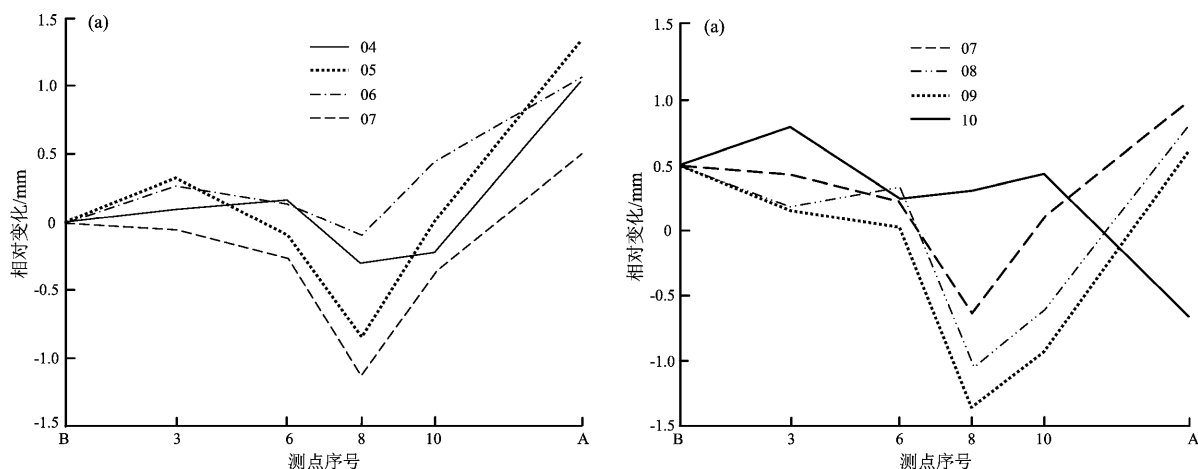


图7 肥东短水准各测点高差变化垂直形变剖面图

(a) 2004 ~ 2007 年; (b) 2007 ~ 2010 年

Fig. 7 Vertical deformation profile of the height variation of each measuring point on the short leveling line in Feidong Station

论目前还没有权威的认识。两次地震前肥东短水准异常变化方向相反是否与两次地震发震构造和机理不同有关还有待进一步讨论。

垂直形变剖面图(图7)还显示了2010年A点加速下降,而A点附近的8号点和10号点则加速上升,由于这两点是钢管过度标,受降雨影响明显,不能完全确定为异常变化。通过降雨影响分析,发现2010年降雨量并没有明显增多,可以认为2010年A点变化不完全受降雨影响。另一方面,20世纪80年代末到90年代中期A点趋势变化明显,主要与其附近红砂开采形成的凹陷有关。2000年红砂开采停止后,BA段高差变化趋于稳定,之后没有发现明显影响A点高差变化的现象,因此2010年A点高差变化受红砂开采形成的凹陷的影响的可能性比较小。

用倾斜矢量法和垂直形变剖面图法分析肥东短水准数据方法均显示出安庆地震前数据出现异常变化。这两种方法计算简单,分析结果直观。对于短水准数据分析有一定优势。

感谢安徽省地震局预报研究中心张军老师在本文创作时给予的大量帮助。

参考文献:

- 陈绍绪,王宝坤,张跃刚.1999.华北地区地倾斜中短斯地震前兆识别及预报方法研究[J].地壳形变与地震,19(4):8-14.
- 洪德全,王行舟,韩立波,等.2011.用CAP方法研究安庆4.8级地震震源机制解[J].中国地震,27(2):207-214.
- 李志平,周必才,葛计划,等.2009.合肥定点短水准测量场地改造[J].华南地震,29(3):133-137.
- 李祖宁,吴绍祖,陈光,等.2007.利用点荷载叠加方法研究天马跨断层短水准异常资料[J].地震研究,30(1):35-38.
- 吕坚,郑勇,倪四道,等.2008.2005年11月26日九江—瑞昌 $M_s5.7$ 、 $M_s4.8$ 地震的震源机制解与发震构造研究[J].地球物理学报,51(1):158-164.
- 宋治平,武安绪,王梅,等.2003.小波分析方法在形变数字化资料处理中的应用[J].大地测量与地球动力学,23(4):21-27.
- 宋治平,武安绪,王梅,等.2004.小波变换在前兆观测资料分析中的应用[J].中国地震,20(1):31-38.
- 谭金意,杨林章.1998.地壳形变观测与分析[M].北京:地震出版社.
- 王雪莹,刘长海,张有林,等.2003.合肥形变台短水准测量资料趋势及震例分析[J].地震地磁观测与研究,6(24):85-88.
- 吴立辛,卫定军,李国斌,等.2007.小波分析方法在宁夏短水准资料分析中的应用[J].地震研究,30(1):49-53.
- 姚大全,刘东旺,翟洪涛,等.2009.安徽肥东桥头集南第四纪断层活动习性[J].震灾防御技术,4(3):308-311.
- 张跃刚,孙佩卿,陈立强,等.2002.短水准震前异常的演化特征[J].华北地震科学,20(3):15-22.

Extracting Short-leveling Anomalies of the Fixed-point in Fei-Dong Station before Anqing $M_s4.8$ Earthquake

HONG De-quan^{1,2}, WANG Xue-ying¹, WANG Xing-zhou¹, ZHANG Jun¹, LI Jun-hui¹

(1. *Earthquake Administration of Anhui Province, Hefei 230031, Anhui, China*)

(2. *National Geophysical Observatory at Mengcheng, Mengcheng 230026, Anhui, China*)

Abstract

Using tilt vector method and vertical deformation profile method respectively, we analyzed the data of short leveling in Feidong Station. The result showed that the data of short leveling in Feidong station appear anomaly before Anqing $M_s4.8$ earthquake. Comparing and analyzing the difference of short leveling data anomaly in Feidong between Anqing earthquake and Jiujiang earthquake, we inferred that the difference of focal mechanism of the two earthquake and the different stress accumulation process before the two earthquakes was the main reason.

Key words: Anqing earthquake; short leveling; Feidong Station; tilt vector method; vertical deformation