

根据断层形变剖面资料分析泾阳 口镇 - 关山断裂活动状况*

胡亚轩, 王庆良, 崔笃信, 王 雄, 季灵运, 郝 明

(中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

摘 要: 首先分析泾阳地震台 1986 ~ 2005 年跨口镇 - 关山断层定点形变观测资料, 指出形变剖面各点的运动特征: 1995 年前泾阳台 N1A 测线资料基本上呈线性变化, 1995 ~ 1997 年该测线形变资料呈现较大的波动性异常, 1998 年 1 月 5 日陕西泾阳发生 4.8 级地震, 靠近断层的点位发生了阶跃式变化, 之后各点位运动渐趋于平缓。其后结合断层位错模型引起的地表形变特征, 分析得出该形变变化主要由地裂和断裂活动共同引起; 不考虑地震引起的异常时段, 分析 1986 ~ 1994 以及 1999 ~ 2005 形变年变化量, 可看出变化趋势基本一致; 最后利用 1986 ~ 1994 形变速率进行断层蠕滑段或地裂速率及深度反演。从反演结果可以看出, 基准点 N1 比较稳定, 3 号点附近的地裂较浅, 底部几十米, 以垂直下滑为主, 兼有张裂活动; 5、6 号点之间的断层活动深度在 1 km 左右。该断层上盘仍在下降。

关键词: 口镇 - 关山断裂; 定点形变; 地裂; 断层活动

中图分类号: P315.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 811X(2008)S0 - 0062 - 04

断层活动是孕育地震的主要原因之一。断层形变是地壳应力场改变最直观、最显著的表现形式。观测断层活动, 可以进行地震预测及地学研究等。然而断层的活动很复杂, 断层形变因为机理不明难以给出形变的唯一解释。国外学者提出一些模型用来解释断层活动强度与地震发生深度的问题。Brace 和 Kohlstedt (1980) 及 KirbyDas (1980) 建立了一个简单的大陆岩石圈流变模型, 揭示了断层形变的两种主要变化机理: 浅部蠕滑, 符合库仑摩擦 - 反映区域应力场变化; 深部脆韧转换带慢滑移 - 反映震源下部变化, 为中短期预报报信。可见确定断层活动深度对地震中短期预报十分重要^[1]。

构造地裂往往是下伏活断层向地表浅层延伸破裂的产物, 断裂构造的长期蠕滑运动可产生蠕滑地裂。地裂是一种常见的环境地质灾害, 遍及世界。在我国遍及各省, 危害非常严重。

地裂与断裂构造是有所区别的, 前者发生在地表, 后者在地下; 前者的尺度小, 后者的尺度大; 前者的成因多, 后者是构造运动所致。地裂与断裂构造又是有联系的, 它可以是活断层的地表露头, 也可以是由次级断层的活动而诱发形成。

从致灾作用上来看, 地裂可以在没有地震时就成为灾害, 而活断层致灾过程的主要表现形式为地震。

汾渭盆地地裂带以其特定的断裂方式、悠久的历史、巨大的致灾能量位居中国地裂之首。西安地裂属于多因迭加地裂, 既有构造地裂的基本特征, 又有地面沉降地裂的位移迭加, 还常表现出地 - 气耦合地裂的特殊性质, 在某些地段上还出现湿陷性黄土地裂夹杂其间^[2]。本文主要利用口镇 - 关山断裂形变剖面资料分析断层的活动规律, 反演断层的蠕滑段深度及其蠕滑速率, 揭示泾阳台形变变化是由地裂活动引起还是由断层蠕滑活动引起。

1 口镇 - 关山断裂带剖面形变特征

口镇 - 关山断裂带是渭河断陷带中段北缘的一条重要构造, 附近地裂缝成群出现。渭河盆地地处中国重要的大地构造分界位置上, 构造格局十分复杂。多种研究结果表明盆地中部为地震危险区。1970 年以来, 此地区常有中小地震和震群活动。通过对水平运动速率以及各应变场特征分

* 基金项目: 国家自然科学基金项目资助(40534021)

作者简介: 胡亚轩(1970-), 女, 陕西西安人, 硕士, 高级工程师, 主要从事地壳形变及机理研究工作。

E-mail: happy_hu6921@sina.com

析,认为渭河盆地中部的咸阳、泾阳一带应变高值比较突出,应变梯度大,具备一定的孕震条件,是潜在震源区^[3,4,5]。渭河盆地北缘断裂带与口镇-关山断裂交会处在1983年4月~1984年6月更是发生350次小震。为了监测口镇-关山断裂的活动情况,陕西省地震局于1984年在该断裂上布设有泾阳地震台定点形变观测场地。

口镇-关山断裂带全长约100 km,总体走向近东西,倾角70°左右,倾向南,为一北升南降的高角度正断层。该断裂从始新世以来长期活动,第四纪以来继续活动。测线在1998年泾阳4.8级地震中有异常出现;此外,自20世纪80年代以来沿断裂带反复出现地裂缝,与口镇-关山断裂的蠕滑活动相关。陕西省地震局布设有3条跨断层测线,其中N1A为日观测,中间有11个过渡点,路线总长477 m(图1),断裂从5、6号点之间经过。其中N1为基岩点。该场地已积累有20多年的形变资料,断层两侧点位的形变累积最大达10 mm多。做出N1A垂直形变时间序列变化图(图2)。从图中可以看出,1995年以前泾阳台N1A测线资料基本上呈线性变化。1995~1997年该测线形变资料呈现较大的波动性异常。1998年泾阳地震后,形变变化又渐趋于平缓。

图3给出各点位相对于起始观测值的高程变化量。可以看出,1、2、4号点高程变化较为一致,

变化幅度较小;6~12点高程变化较为一致;1998年地震前后5、6号异常明显。表明此异常主要由断层两侧的点位5、6号点的差异性运动引起。3号点表现为明显的下沉运动,可能由浅层的地裂活动引起。

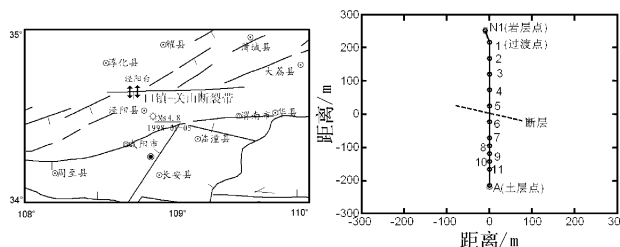


图1 断层及剖面点位分布情况

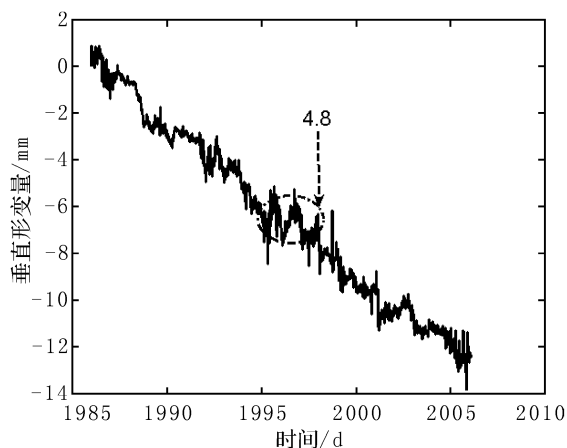


图2 N1A垂直形变时间序列变化图

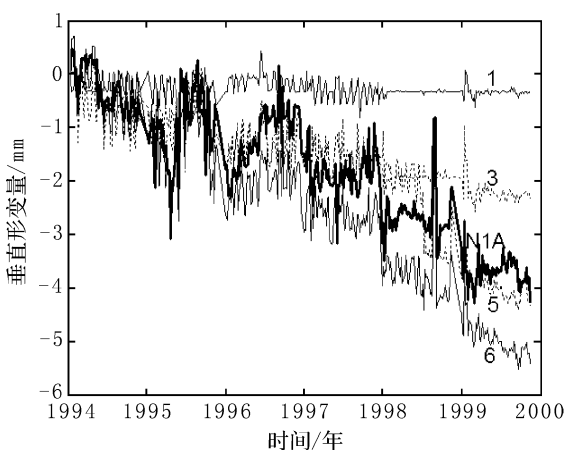
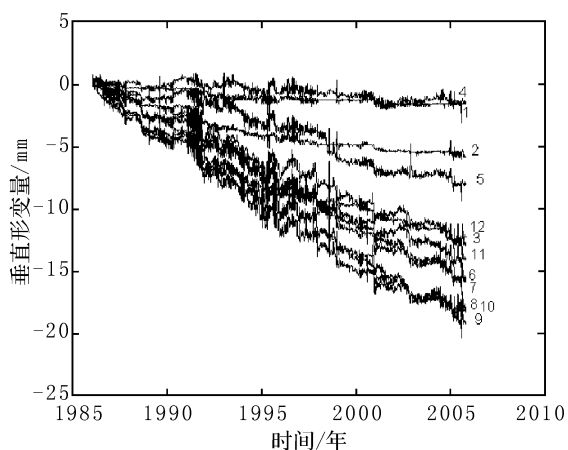


图3 点位相对于起始观测值的高程变化量

若不考虑地震的影响,对1986~1994和1999~2005两个时间段点位垂直形变变化进行分析(图4),可以看出地形有一定坡度,N1最高,点位的活动与地形不相关。多数点位的年平均速率变化不是很大;而剖面3和8号点变化速率较大,距离临近点位距离又很小,推测可能由地裂活动引起。对于剖面的整体运动趋势,可看出断层存在长期

的蠕滑,上盘点位A相对下盘点位N1表现为下降趋势。又由于多处地裂的存在,所以个别点位表现为偏离整体趋势的活动。

2 基于 MATLAB 的位错模型反演

2.1 断层位错引起的地表形变特征

通过以上分析,下面应用地表形变对断层或

地裂的活动情况进行反演。

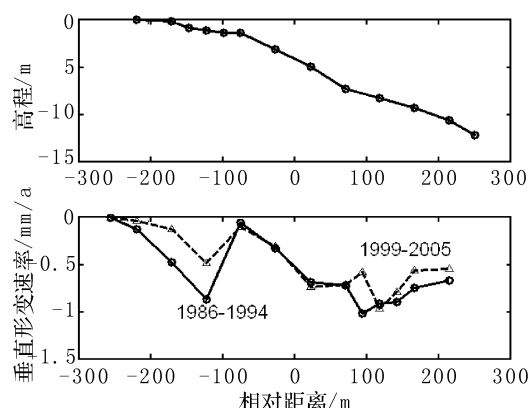


图4 点位高程的相对变化及年平均变化图

地裂及其下伏断层活动引起的地表位移可以用断层位错模型来表示。在弹性半无限空间中,断层面上位错分布引起的地壳形变计算公式由 Okada 在 1985 文章中详细列出^[6]。

一般根据地质学、地球物理学成果,可以得到断层的长度、走向和倾角等信息。减少反演参数,提高反演进程及反演结果的有效性。下面主要分析不同断层深度引起的地表形变变化特征。地裂多存在张裂运动。图 5 给出倾角 $\delta = 90^\circ$ 、仅发生张裂运动(速度 $U_3 = 1$)、断层长度 $L = 10$ km、宽度为 8 km 的断层,当断层顶部深度不同时断层活动引起的地表特征(图 5)。断层直立时,断层底部深度为顶部深度与宽度的和。从图中可以看出,在其他参数一致的前提下,断层顶部(底部)深度越浅,对地面点影响距离越近,越靠近断层幅度越大。

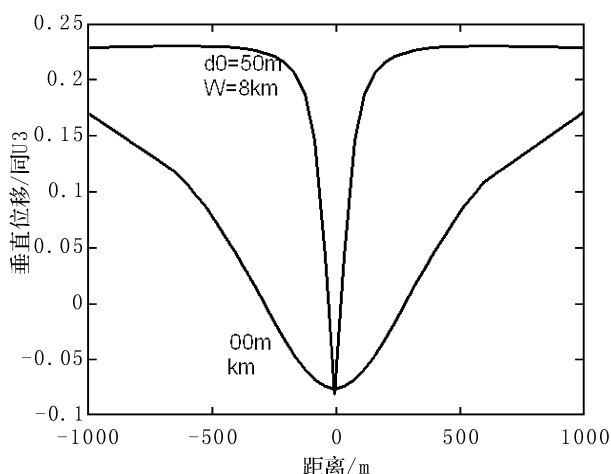


图5 矩形断层模型不同深度引起的理论位移图

2.2 断层活动深度的反演

泾阳地震台形变监测剖面点位距断层距离

<300 m,个别点位之间距离近而运动速率差异明显,特别是3、4号点位垂直位移差异较大,可见发生了地壳浅部的运动,初步得出形变主要由于地裂引起;距断层较近的4号点形变变化趋势较缓,说明断层活动深度也比较浅。另外8、9号点位变化趋势刚好相反,说明此处期间也可能有地裂活动现象发生。

下面根据断层位错模型,应用 Matlab7.0 遗传算法编程反演口镇—关山断裂蠕滑段深度及其蠕滑速率。遗传算法是一种借鉴生物界自然选择自然遗传机制的高效并行全局性随机搜索方法,主要由编码和初始群体生成、译码、群体中个体度计算、选择、交叉和变异等6部分组成。本文基于 Matlab7.0 Release 14 的遗传算法主要对断层深度、速率进行反演。该软件包含一个专门设计的遗传算法与直接搜索工具箱,可以处理传统的优化技术难以解决的难题,包括那些难以定义或不便于进行数学建模的问题,可以解决目标函数较复杂的问题^[7]。

在反演中,观测数据为点位速度,对单个地裂/断裂,模型参数为($U_1, U_2, U_3, L, d_0, d_1, \delta, \alpha$)、原点坐标(x_0, y_0, z_0)以及基准参数(C)等12个参数。这里依据坐标系的建立情况、地质概况、断层的主要活动状况等,假定3号点处的地裂部分参数为 $U_1 = 0; L = 2\,000$ m; $\delta = 89.9^\circ, \alpha = 0^\circ, d_0 = 0$ (破裂至地表);5、6号之间断裂的部分参数取 $U_1 = 0; U_3 = 0; L = 20\,000$ m, $\alpha = 0, \delta = 75^\circ$ 。这样,地表形变就由两部分引起。利用形变资料对其它7个参数进行反演。反演时依据地质情况以及已有资料,对反演参数范围进行适当的约束,反演结果如表1及图6。

表1 口镇—关山断裂带地裂活动参数反演结果

| | $U_2/$ (mm/a) | $U_3/$ (mm/a) | d_0/m | d_1/m | C/mm | 均方差 /mm |
|------|------------------|------------------|---------|---------|--------|------------|
| 浅部地裂 | -14.7 | 1.0 | - | 68 | 0.56 | 0.11 |
| 深部断层 | -3.3 | - | 22 | 1102 | | |

从长时间的观测资料以及反演结果可以看出,基准参数较小,表明 N1 比较稳定;有多处出现点位形变突变,表明地裂活动明显;地裂位置较浅,底部几十米;断层活动深度在 1 km 左右,上盘仍在下降。

3 结论

通过以上分析可知:

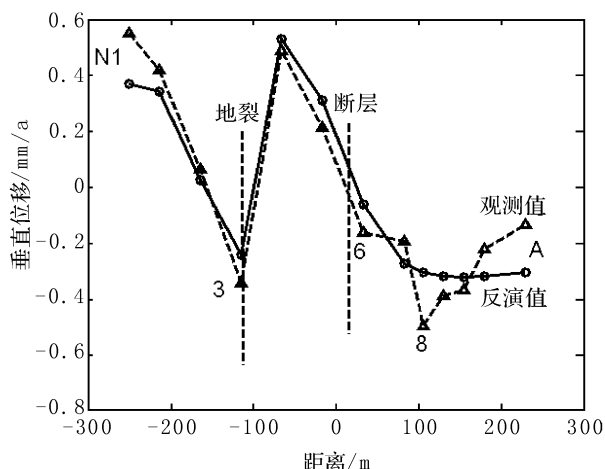


图6 口镇-关山断裂带位错模型反演结果图

(1) 口镇-关山断裂的活动对关中地震有一定的反映, 可用定点形变测量观测得到。

(2) 断层附近的点位, 地震前后发生了阶跃式变化。

(3) 该地区有多个地裂, 并长期处于缓慢运动状态, 形变形成趋势性积累。

(4) 从反演结果可以看出, 基准点 N1 比较稳定, 3 号点附近的地裂较浅, 底部几十米, 以垂直下滑为主, 兼有张裂活动; 5、6 号点之间的断层活动深度在 1 km 左右。该断层上盘仍在下降。

(5) 反演结果断层南面各点误差较大, 可能与 8 号点附近的地裂活动有关。

参考文献:

- [1] C. H. SCHOL. 地震与断层力学[M]. 北京: 地震出版社, 1996.
- [2] 李永善. 西安地裂及渭河盆地活断层研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [3] 王卫东. 陕西地区环境剪应力的分布特征[J]. 地震地磁观测与研究, 2001, 22(4): 54-58.
- [4] 戴王强, 任隽, 赵小茂, 等. GPS 初步揭示的渭河盆地及其边邻地区地壳水平运动特征[J]. 地震学报, 2004, 26(3): 256-260.
- [5] 薛广盈, 丁毓玉, 袁志祥. 渭河断陷盆地地壳速度的层析成像研究[J]. 地震学报, 1997, 19(3): 283-290.
- [6] 邢西淳, 王争良, 毛娟, 等. 泾阳 4.8 级地震前后泾阳地震台形变观测资料的异常分析[J]. 西北地震学报, 2000, 22(1): 98-100.
- [7] Okada, Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space[J], Bulletin of the Seismological Society of America, 1985, 75(4), pp. 1135-1154.
- [8] 雷英杰, 张善文, 李继武, 等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.
- [9] 陈运泰, 黄立人, 林邦惠, 等. 用大地测量资料反演的 1976 年唐山地震的位错模式[J]. 地球物理学报, 1979, 22(3): 201-216.
- [10] 王庆良, 王文萍, 梁伟锋, 等. 大同机车厂地裂缝活动深度段位错模型反演[J]. 地壳形变与地震, 1998, 18(3): 80-84.
- [11] 赵明, 陈运泰, 巩守文, 等. 用水准测量资料反演 1990 年青海共和地震的震源机制[J]. 地壳形变与地震, 1992, 12(4): 1-11.

Analysis on Activity of Kouzhen-Guanshan Fault in Jingyang Based on Deformation Profile Data

Hu Yaxuan, Wang Qingliang, Cui Duxin, Wang Xiong, Ji Lingyun and Hao Ming
(Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054)

Abstract: Data of fixed-point cross fault deformation observation of Jingyang Seismic Station from 1986 to 2005 are analyzed and the movement characteristics of deformation profile are described. The data of survey line N1A at Jingyang station before 1995 basically indicates a linear variation. The deformation data from 1995 to 1997 show great fluctuated anomaly. The Jingyang earthquake of magnitude 4.8 occurred on January 5, 1998 in Shaanxi and step changes appeared at the point near the fault. After then, movement at these points becomes stable. Based on analyses of characteristics of surface deformation simulated by fault dislocation model, it is concluded that the deformation changes were caused jointly by activity ground fissures and fault. If not considering abnormal period due to earthquakes, analysis on annual deformation changes from 1986 to 1994 and from 1999 to 2005 show that tendency of changes is basically same. Finally fault creeping segment or ground fissure activity rate and depth are inversed by use of deformation rate from 1986 to 1994. The results of the inversion show that the reference point N1 is relatively stable. Ground rupture near point 3 is relatively shallow with depth about several decameters. Its activity mainly is vertical subsiding with tensional fracture. The faulting depth between point 5 and 6 is about 1 km. The upfaulted block of the fault is still subsiding.

Key words: Kouzhen-Guanshan fault; fixed-point deformation; ground fissure; faulting