

文章编号: 1004 - 4574(2011)06 - 0057 - 05

汾渭盆地内断层和地裂引起的 地表垂直形变特征

胡亚轩, 王建华, 王 雄

(中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054)

摘 要: 汾渭盆地内的地裂活动明显, 危害严重。主要分析了陕西泾阳的口镇—关山断裂及山西清徐交城断裂及附近地裂活动引起的灾害及地表垂直形变特征, 并通过位错模型反演了清徐交城断层及其地裂活动参数, 为进一步预防此类灾害提供参考。

关键词: 地裂; 垂直形变; 位错模型

中图分类号: P315.72⁺6

文献标志码: A

Characteristic analysis of vertical surface deformation caused by faults and ground fissures in Fen-Wei Basin

HU Ya-xuan, WANG Jian-hua, WANG Xiong

(Second Crust Monitoring and Application Center, China Earthquake Administration, Xi'an 710054, China)

Abstract: The fault and ground fissure are active obviously and has caused serious disasters in Fen - Wei Basin . In this paper the characteristics of disasters and vertical deformation caused by Kouzhen - Guanshan Fault in Shaanxi Province ,Qingxu-Jiaocheng Fault in Shanxi Province and its adjacent ground fissure activity were analyzed. Then the Jiaocheng fault and its ground fissure parameters was inversed based on dislocation model. The results can give a reference to work on disaster prevention and reduction.

Key words: ground fissure; vertical deformation; dislocation model

地裂是一种常见的环境地质灾害,它是地壳表层介质的断裂,是由内营力、外营力及人类活动等因素或以上诸因素的迭加所引起的地表介质完整性的破坏。地裂灾害已遍及世界,在我国遍及各省^[1]。这些地裂虽然不像由地下岩石突然断裂造成的地震引起的巨大灾害,像跨美国南加州圣安德烈斯断层的篱笆在1906年旧金山地震后发生了3~4 m的错动^[2];汶川 $M_s 8.0$ 级特大地震最大垂直错距和右旋水平错距分别达到5.0 m和4.8 m^[3],但是多种不同类型的地裂不仅对各类工程建筑、交通设施、城市生命线工程及土地资源造成灾难性的直接破坏,而且可能导致一系列严重的生态环境问题^[4]。

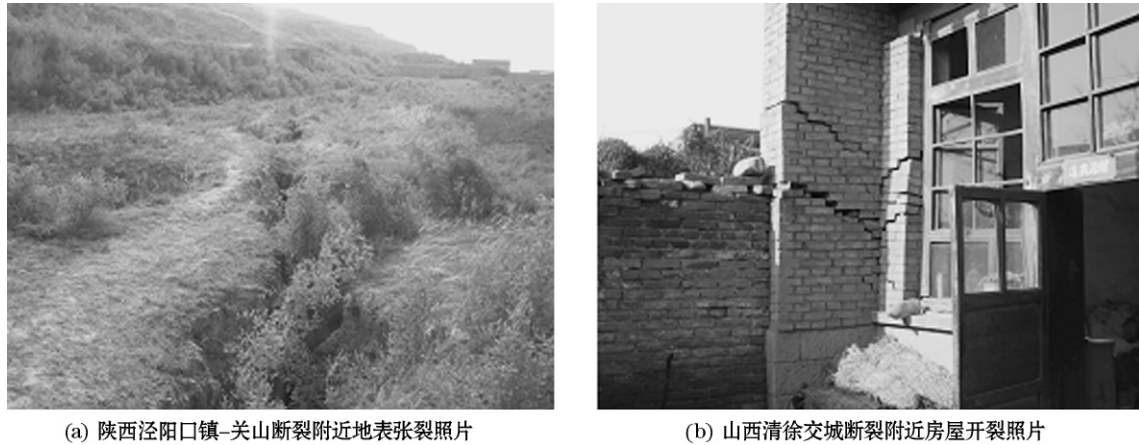
地裂的成因很多,但多认为构造对地裂缝的影响表现为控制性的,也不排除其它因素的间接影响。地裂与断裂构造是有区别的,前者在地表,后者在地下;前者的尺度小,后者的尺度大;前者的成因多,后者是构造运动所致。地裂与断裂构造又是有联系的。它可以是活断层的地表露头,也可以由次级断层的活动而诱发形成。从致灾作用上来看,地裂可以在没有发生地震时就成为灾害。而活断层致灾过程的主要表现形式为

收稿日期: 2010 - 02 - 17; 修回日期: 2010 - 12 - 15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40534021)

作者简介: 胡亚轩(1970 -),女,高级工程师,主要从事地形变和灾害分析研究。E-mail: happy_hu6921@sina.com

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灾害之首,这里几乎囊括了各种类型的地裂灾害^[1]。图 1(a) 为 2007 年拍摄的位于陕西泾阳附近的口镇—关山断裂及地裂活动引起的地表张裂照片;图 1(b) 为 2007 年拍摄的山西清徐附近的交城断裂及地裂活动引起的房屋开裂照片。另外,大同、榆次、临汾及运城等城市的地裂活动也很严重,可见汾渭盆地内的地裂活动不容忽视。



(a) 陕西泾阳口镇—关山断裂附近地表张裂照片

(b) 山西清徐交城断裂附近房屋开裂照片

图 1 汾渭盆地内的断层和地裂活动引起的灾害

Fig. 1 Disasters caused by fault and ground fissure activities in Fen-Wei Basin

1 汾渭盆地地裂活动特点

汾渭盆地是世界上著名的地震、地质灾害活动区之一,其中最著名的地质灾害是地裂。自 20 世纪中、后期以来,汾渭盆地已有 50 余个县市,180 处发现地裂缝,总计约 500 余条,已成为我国乃至全世界地裂缝灾害最为发育的地区之一,严重影响着城市建设及国民经济的发展,累计经济损失近百亿元^[5]。

口镇—关山断裂带是渭河断陷带中段北缘的一条重要构造,附近地裂成群出现。从断裂附近地面开裂情况分析,目前该地裂处于活动状态。另外,地裂活动与地震息息相关。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^[6-8]。为监测口镇—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。其中跨断层测线 N1A 为日观测,路线总长 477 m,中间有 11 个过渡点。N1 为基岩点。该场地已积累有 20 多 a 的水准形变资料,断层两侧点位的形变累积最大达 10 多 mm。从历年观测资料得知,N1 至 1 号点变化较小,表明 N1 稳定。图 2(a) 为 N1A 垂直形变时间序列变化图。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,表明剖面的整体运动趋势,可以看出上盘点位 A 相对下盘点位 N1 表现为下降趋势。可见断层存在长期的蠕滑。1995 ~ 1997 年该测线形变资料呈现较大的波动性异常;其间在 1998 年 1 月 5 日 (34.5°N, 108.9°E) 发生了 $M_s 4.8$ 地震。1998 年震后,形变变化又渐趋于平缓。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,见图 2(b),可以看出地形有一定坡度,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;多处地裂的存在使得个别点位表现为偏离整体趋势的活动,年变化速率最大在 1 mm 左右。

交城断裂是控制晋中盆地新生界沉积的主要断裂,是山前断裂,断层性质为正断层,以倾滑活动为主。近年来由于煤矿开采和断层活动等原因,地裂活动比较明显。地裂经过之处,房屋、地面及道路开裂随处可见。中国地震局第二监测中心于 2007 年在此处建有约 7 000 m 和 400 m 两条水准剖面,图 3。2008 年 5 月和 10 月各观测了一次。水准变化如图 4 所示。剖面点位距离为相对路线中间点的长度,北(断层下盘)为正向。

从图 3 可以看出,剖面 I 和 II 有一部分点位在同一纬度处,相距较近。剖面 I 在主要道路 II 北侧点位 9 至 23 号点建于水泥梁,24 至 30 号点位为土中点。剖面 II 部分为土中点。图 4 给出两期观测的垂直形变变化图,可以看出,断层靠盆地一侧表现为下沉。图 4(a) 中,建于水泥梁上的各点形变量较小;而土中点 26 号点位在 5 个月内垂直形变量最大,点位移量达 54.5 mm。穿过村庄的水准剖面 II - 图 4(b),变化量最大也在 10.1 mm。

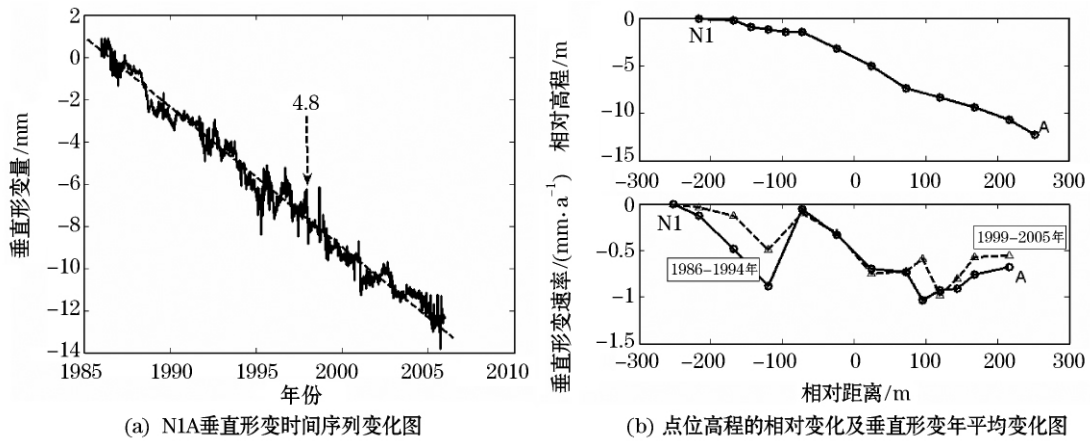


图2 陕西泾阳口镇一关山断裂地裂剖面垂直形变时间序列变化图

Fig. 2 Time sequence of vertical deformation of fissure section in Kouzhen - Guanshan Fault in Jingyang Town of Shaanxi Province

2 地裂活动的理论模型分析

地裂活动以垂直差异运动为主,其次为水平张裂运动,水平扭动最弱。另外断层位移对地裂缝在水平方向的张裂变形及垂直方向的差异变形都有一定影响。矩形断层模型可以较好地分析断层活动引起的地面形变特征。陈运泰^[9]、Okada^[10-11]等提出的三维位错理论可以较好地分析地裂活动。依据模型计算结果以及地裂目前的监测情况,可知矩形断层的倾滑和张裂活动是引起地表垂直形变的主要运动方式。实际分析中,地面点垂直形变量是可以观测得到的,地裂活动的速率、深度及底部位置需要通过模型进行反演。

2.1 单层位错模型

假定地面形变仅由地裂活动引起。依据 Okada



图3 山西清徐交城断裂水准剖面图

Fig. 3 Level section of Jiaocheng Fault in Qinxu County of Shanxi Province

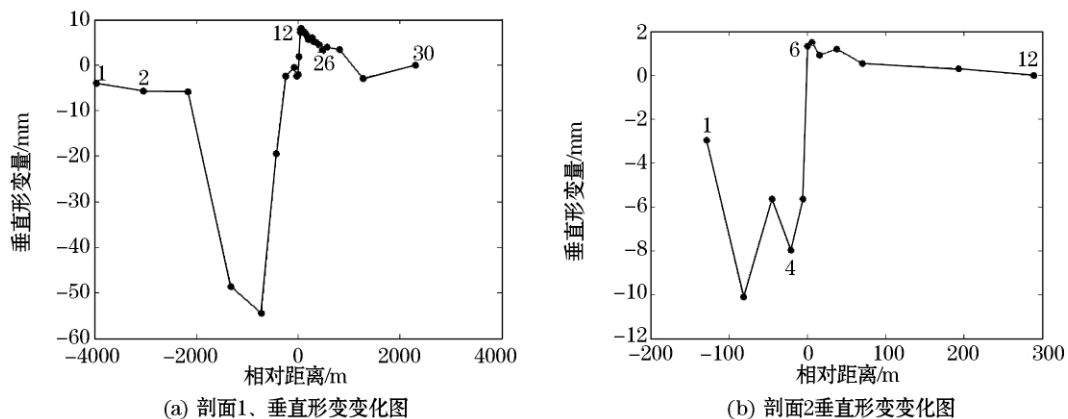


图4 山西清徐交城断裂地裂剖面垂直形变变化图

Fig. 4 Vertical deformation of fissure sections in Jiaocheng Fault in Qinxu County of Shanxi Province

的断层位错模型,在弹性半无限空间中,给定断层的长度及倾角,取地面坐标系与断层坐标系平行,则不同的

深度在发生倾滑和张裂活动时引起地表点垂直形变量如图 5。从图 5 可以看出,在其它参数相同的前提下,断层的倾滑引起相对较大的垂直形变量;对有一定倾角的断层(或地裂),断层的顶部深度对地表形变特征影响较大,深度越浅,靠近断层的点位垂直形变量越大,影响的范围越小;深度越深,靠近断层的点位垂直形变量越小,影响的范围越大;对顶部深度较深的断层,底部深度变化对地表垂直形变的最大值影响相对较小;断层的倾滑引起上盘点位相对下盘点位上升;而张裂活动引起上盘点位的相对下盘点位下降;正断层的倾滑以及张裂引起断层上盘一侧点位的下降量最大。

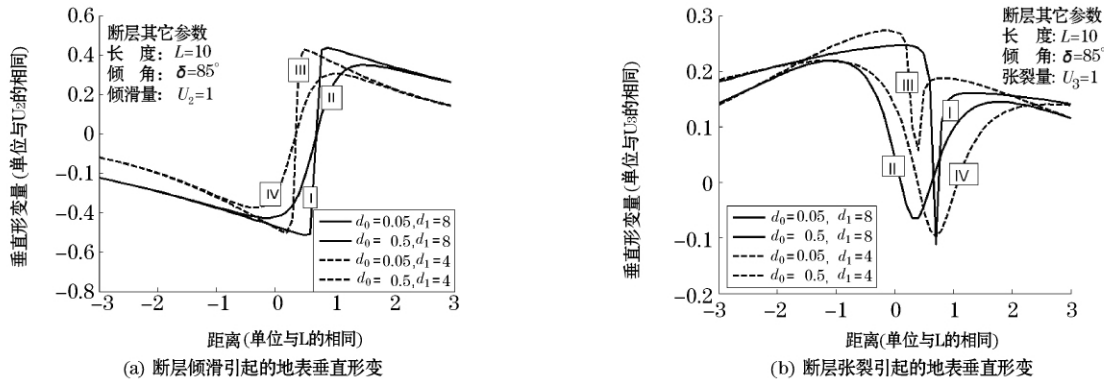


图 5 位错模型不同深度引起的理论垂直位移图

Fig. 5 Vertical displacement in different depths by dislocation model

说明:垂直形变量“与 U_2 一致”,具体表示:譬如倾滑量 U_2 以“毫米”为单位,则垂直形变量单位也为“毫米”;若 U_2 以“厘米”为单位,则垂直形变量单位也为“厘米”等等;

距离“与 L 一致”,具体表示:譬如断层长度 L 以“公里”为单位,则距离单位也为“公里”;若长度 L 以“米”为单位,则距离单位也为“米”等等。

2.2 双层位错模型

分析两地的地面形变特征,可以看出地面活动影响面较广,地表多处出现张裂,单一的一种活动方式很难解释这些特征,且仅由浅部的地裂活动结果也不能很好地解释地面变形。以上地裂活动又均与断层活动相关联。这里考虑地面变形由上面的地裂活动和顶部埋藏较深,倾角相对较缓的断层活动共同引起。从地面形变特征来看,陕西泾阳的口镇—关山断裂附近以多处地裂活动方式为主。断裂及地裂的活动方式已通过双层模型反演得到较好的结果^[12]。从山西清徐交城断裂附近的形变特征来分析,该处深层断裂及浅层地裂也正在活动。以下对山西清徐交城断裂及其附近的地裂活动参数进行反演。断层参数取为:长度 40 km,倾角 70° ,断层上界与地裂下界相等。地裂参数取为:长度 40 km,倾角 85° ,上界为 0,下界与断层上界相联。对地裂的倾滑和张裂速率,下界深度以及断层的倾滑速率及下界深度以及基准参数共 6 个参数进行反演,反演结果见 1 和图 6。

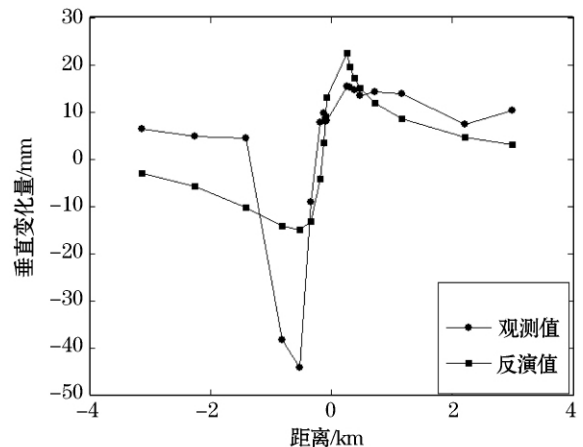


图 6 交城断裂及地裂活动参数反演结果

Fig. 6 Inversion results of activity parameters of Jiaocheng Fault and ground fissures

表 1 交城断裂及地裂活动参数反演结果

Table 1 Inversion results of activity parameters of Jiaocheng Fault and ground fissure

	$U_2 / (\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	$U_3 / (\text{mm} \cdot \text{a}^{-1})$	d_0 / m	d_1 / m	C / mm	均方差 / mm
浅部地裂	-72	159	-	120	10.3	11.5
深部断层	-38	-	120	2911		

从剖面 I 的反演结果来看,结果不很理想,特别是下沉量最大的两点,理论值与实测值相差较大。一是可能由于模型的局限性,它是针对弹性半空间问题,而实际点位所处介质复杂;二是可能由于点位所处环境不同,图中下降最大的点位于果园内,好像存在塌陷,需进一步落实;而上升的点位于水泥梁上,处于断层的上盘位置,变化量较小;而相距较近的剖面 II 同一纬线处发生了较大的下沉。但总的来看,地裂深度较浅,底部深度大概在 120 m,张裂活动比较明显。深部断层发生倾滑,活动深度在 3 km 以内。

3 汾渭盆地断层和地裂活动分析

从以上分析以及其它研究成果可知,汾渭盆地内以上两处地裂活动与断层活动相伴生。另外,山西榆次市市区北郊及北东部一带为地裂缝密集带,地裂分布靠近断层,其延展方向与断层走向平行^[13]。渭河盆地 196 条地裂缝大都密集分布在断层近侧,与断层走向有明显的一致性和相关性^[14]。地裂既有平静又有活动,既有蠕滑又有快速滑动。蠕动着的地裂通过的地方,地表破碎,建筑物开裂,道路变形,地下管道错断,地面各类设施遭到破坏,经济损失严重。汾渭盆地断层和地裂活动与地震又密不可分。目前汾渭断陷带垂直形变率仍很高。山西断陷带是华北第三地震活跃期,发生过多次强震,具有大震活动构造背景,现代构造活动仍较强烈。郭良迁分析华北地区断裂带的现代形变特征,发现山西断陷带的垂直形变速率最显著,断裂带处于拉张-剪切运动环境中,表现为旋扭和裂隙活动^[15]。韩恒悦等分析渭河断陷带第四纪的垂直运动十分强烈^[16]。从以上对泾阳、清徐两处实际的考察以及地表形变的变化分析,目前两处的断层及地裂仍处于活动状态,清徐的断层和地裂活动更为明显。可见需继续监测该处的地裂活动状况,并结合地裂活动与断层活动、地震等的关系进行分析研究,为减轻自然灾害做出有益的贡献。

4 结论

- (1) 汾渭盆地内地裂多分布在断裂附近,并与断裂活动相伴随;
- (2) 地表形变量为浅部地裂和深部断层共同活动引起的结果;
- (3) 汾渭盆地内多处断层和地裂目前处于活动状态,综合两处的反演结果,可知地裂底部深度在百米左右,断层深度在几公里^[12];
- (4) 盆地内地裂造成严重的灾害,农田损坏、水渠、道路,建筑物开裂,影响人民生活,经济损失巨大,是目前值得关注和治理的灾害之一;
- (5) 汾渭盆地的地裂活动与断层活动相伴生,断层和地裂活动与地震又密不可分;目前汾渭断陷带内现代构造活动仍较强烈,继续监测和关注该处的地裂活动状况很有必要。

参考文献:

- [1] 李永善,耿大玉,韩许恒,等. 西安地裂及渭河盆地活断层研究[M]. 北京:地震出版社,1992.
- [2] 陈颢,史培军. 自然灾害[M]. 北京:北京师范大学出版社,2008.
- [3] 张培震. 中国地震灾害与防震减灾[J]. 地震地质,2008,30(3):577-583.
- [4] 武强,陈佩佩. 地裂缝灾害研究现状与展望[J]. 中国地质灾害与防治学报,2003,14(1):22-27.
- [5] 彭建兵,范文,李喜安. 汾渭盆地地裂缝成因研究中的若干关键问题[J]. 工程地质学报,2007,15(4):433-439.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 薛广盈,丁韞玉,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.
- [9] 陈运泰,林邦惠,林中洋,等. 根据地面形变的观测研究 1966 年邢台地震的震源过程[J]. 地球物理学报,1975,18(3):164-182.
- [10] Okada Y. Surface deformation due to shear and tensile faults in half-space[J]. Bull. Seismol. Soc. Am., 1985,75:1135-1154.
- [11] Okada Y. Internal deformation due to shear and tensile fault in half-space[J]. Bull. Seismol. Soc. Am., 1992,82:1018-1040.
- [12] 胡亚轩,王庆良,崔笃信,等. 根据断层形变剖面资料分析泾阳口镇-关山断裂活动状况[J]. 灾害学,2008,23(增刊):62-65.
- [13] 武强,陈佩佩,董东林,等. 山西榆次地裂缝灾害评价的 GIS 与 ANN 耦合技术研究[J]. 水文地质工程地质,2002(2):6-10.
- [14] 陈志新,袁志辉,彭建兵,等. 渭河盆地地裂缝发育基本特征[J]. 工程地质学报,2007,15(4):441-447.
- [15] 郭良迁,薄万举,杨国华. 华北地区断裂带的现代变形特征[J]. 大地测量与地球动力学,2003,23(2):29-36.
- [16] 韩恒悦,张逸,袁志祥. 渭河断陷盆地带的形成演化及断块运动[J]. 地震研究,2002,25(4):362-368.