

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.02.15

陕西渭河盆地地裂缝的构造机理

王卫东¹, 郑 怡², 张永志¹, 赵云峰³, 卞 龙⁴

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省地震局汉中综合地震台, 陕西 汉中 723000; 3. 中国地震局第二监测中心, 陕西 西安 710054; 4. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 分析研究了渭河盆地及邻区介质品质因子分布、震源机制解与应力场和形变场特征。研究结果表明, 渭河盆地地裂缝, 特别是渭河盆地东部的西安地裂缝, 存在明显的深部构造背景: ①在渭河盆地的东部地区存在结构较为松散、介质强度较弱、近北东向展布的巨厚沉积层, 渭河盆地东部的西安地区位于地震波低 Q 值区的梯度陡变带边缘和第四系沉降梯度陡变带上, 两梯度陡变带的延伸方向均接近北东向, 与临潼—长安断裂的展布方向一致, 也与西安地裂缝的延伸方向相同, 表明此区域深部的地质结构为地裂缝的形成提供了构造基础。②震源机制解的研究结果表明, 渭河盆地处于 NNW 向水平拉张应力场的作用下, 容易产生 NE—NEE 向的正断层活动, 地表则表现为以垂直沉降和水平张开活动为主, 呈 NEE 向展布的地裂缝。③形变测量结果表明, 盆地中部与南北两侧相比, 张应变较大, 为地裂缝的形成提供了更为宽松的应力环境。

关键词: 渭河盆地; 地裂缝; 介质品质因子; 震源机制; 应力场; 应变

中图分类号: P694

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)02-0099-04

The tectonic mechanism of ground fissures in Shaanxi Weihe basin

WANG Weidong¹, ZHENG Yi², ZHANG Yongzhi¹, ZHAO Yunfeng³, BIAN Long⁴

(1. School of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Hanzhong Comprehensive Seismic Station, Earthquake Administration of Shaanxi Province, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 3. Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 4. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029, China)

Abstract: The distribution of Q values, the focal mechanisms of the earthquakes after 1965 with magnitudes greater than 3.0 and the characteristics of the stress and deformation field in Weihe basin and its adjacent areas were studied in this paper. The results show that in Weihe basin, especially in the eastern part of the basin, such as the area of Xi'an city, the ground fissures are rooted in the deep geological structures. The results show that in the eastern part of Weihe basin, there lies loose and weaker sedimentary layers with very large thickness which extended nearly in the direction of NE. Xi'an area lies in the eastern part of the basin with low Q value, and also lies in the edge of the abrupt gradient belt of Q value and the sedimentation gradient belt of Quaternary system. These two gradient belts all lie in the direction of fairly NE, this direction is consistent with the strike of Lintong-Chang'an fault and the extended direction of the ground fissures in Xi'an city. These facts show that the ground fissures in this area are rooted in the deep geological structures. The mechanisms of the earthquakes in Weihe basin and its adjacent areas show that the main stress is horizontal tensile stress with NNW direction in this region. Under this stress field, in Weihe basin, the normal faults

收稿日期: 2015-04-30; 修订日期: 2015-05-08

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(创新团队)(2013G3262012); 国家自然科学基金(41274005)

第一作者: 王卫东(1967-), 男, 陕西宝鸡人, 教授, 博士, 主要从事地球物理学、灾害学的教学与研究工作。E-mail: chdwwd@163.com

generate easily and behave actively with the direction of NE-NEE, and in the area near the surface of the earth, the ground fissures emerge with vertical subsidence and horizontal extension, so the direction of these ground fissures are also NEE. The results of deformation survey in this region shows, compared with the northern and southern edges of Weihe basin, the tensile strain in the central part of Weihe basin is higher, it is easier for the forming of ground fissures there under this stress field. Thus, the ground fissures in Weihe basin mainly emerge in the central parts of the basin, such as Xi'an, Xianyang, Lintong and Sanyuan.

Keywords: Weihe basin; ground fissure; Q value; focal mechanism; stress field; strain

0 引言

渭河盆地最著名的地质灾害是地裂缝。自 20 世纪中、后期以来,渭河盆地已有 25 个县市,93 处发现地裂缝,总计约 300 条,累计总长超过 152.81 km,已成为我国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,其中以西安地裂缝最为严重和典型(图 1)。除西安市之外,渭河盆地中的渭南、大荔、富平、咸阳、泾阳、三原、韩城等地也出现大规模 NEE 向延伸的地裂缝^[1-3]。

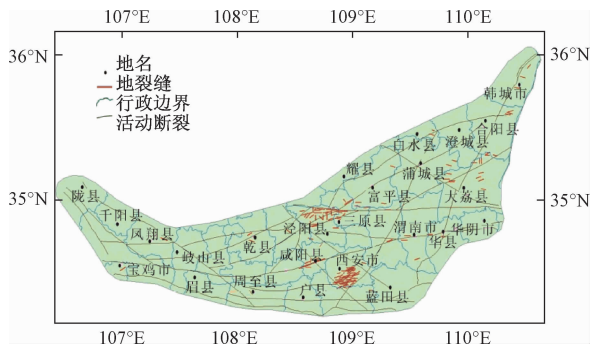


图 1 渭河盆地构造断裂及地裂缝分布示意图(据彭建兵^[4])

Fig.1 Tectonic faults and ground fissures of Weihe basin
(According to Peng Jian-bing^[4])

渭河盆地是我国大陆内部现代构造活动最强烈的地区之一,是分隔我国华北、华南地块的一条重要分界线。盆地内有多个次级断块,差异活动显著,活动断裂发育,其活动对盆地内地裂缝的分布有重要的影响^[5]。同时,西安等地的地下水开采处于不同程度的超采状态,也导致了地面的大面积沉降^[6-7]。本文利用陕西数字地震台网记录的数字地震波形资料,反演得到了渭河盆地及邻区介质品质因子的分布,研究了 1965 年以来渭河盆地及邻区的 3 级以上地震的震源机制解,分析了渭河盆地 GPS 观测得到的形变特征,揭示了渭河盆地地裂缝形成的深部构造背景,有助于预测这一地区未来发展地质环境的潜在危机,为该地区的地质环境保护、地质灾害防治提供更为科学合理的对策。

1 渭河盆地及邻区介质品质因子分布及其与地裂缝的联系

介质品质因子(Q 值)是用来度量介质中振动或波动能量的非弹性衰减率的物理量,与地壳的结构特征,如构造活动区的断层分布、壳内低速层等有密切联系。其中,Aki提出的确定尾波 Q 值的方法已广泛应用于国内外许多地区。

根据尾波散射理论,尾波峰值振幅 $A(t)$ 随尾波流逝时间 t 的变化关系为^[8-9]:

$$A(t) = \sqrt{8}M_0B(f)I(t)Q^{-\frac{1}{4}}t^{-\frac{1}{2}} = \left| \frac{df}{dt} \right|^{\frac{1}{4}} \exp\left(-\frac{\pi ft}{Q}\right) \quad (1)$$

其中: f 是 t 时刻尾波优势频率, $I(t)$ 是仪器放大倍数, $B(f)$ 是尾波激发因子, M_0 是地震矩。在所选取的地震震级较小和震中距不大时,尾波激发因子和仪器放大倍数均近似为常数,且优势频率与流逝时间存在如下经验关系:

$$f = a_0 t^m \quad (2)$$

参数 a_0 和 m 与仪器系统及介质性质有关。将(2)式代入(1)式并取对数有:

$$\ln A(t) = \frac{m-3}{4} \ln t - \frac{\pi ft}{Q} + \text{const} \quad (3)$$

对每个单台记录的地震尾波,量取不同流逝时间 t_i 所对应的尾波振幅峰值 A_i 及相应的优势频率 f_i ,即可先由(2)式求得参数 m ,再由(3)式求得尾波 Q 值。本文利用陕西数字地震台网记录的数字地震波形资料,通过尾波分析方法,得到了渭河盆地及邻区介质品质因子的分布(图 2)。

由图可见,渭河断陷盆地及邻区的 Q 值分布是不均匀的,东部的横向不均匀性大于西部,其总体分布特征为:西部地区比较均匀,在中西部地区存在周至——户县北西向分布的低 Q 值带,东部地区存在北东向延伸的户县——西安、富平——蒲城、澄城低 Q 值带,但在渭河断陷盆地内部低 Q 值带的总体走向为北东向。

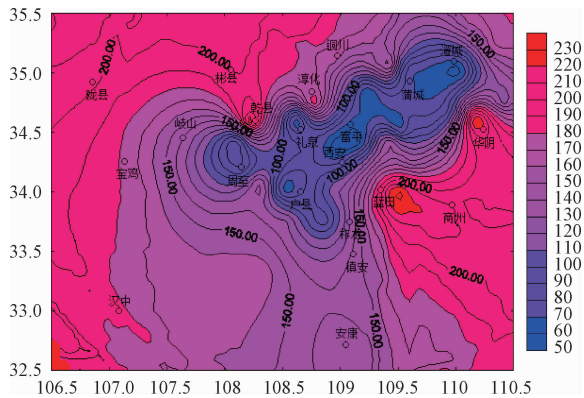
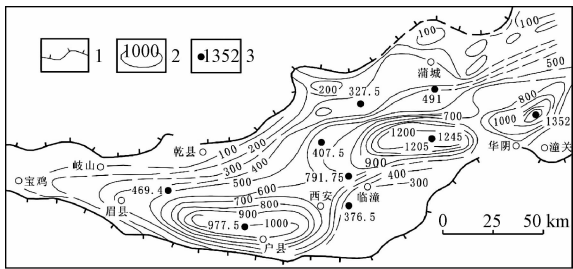


图 2 渭河盆地及邻区 Q 值分布图

Fig.2 Q value distribution in Weihe basin and its adjacent areas

与渭河盆地第四系等厚度图(图 3)对比可见,西安同时位于第四系沉降梯度陡变带和地震波低 Q 值区的梯度陡变带上,两梯度陡变带的延伸方向均接近北东向,与临潼—长安断裂的展布方向一致,两梯度陡变带的边缘与临潼—长安断裂的位置基本相同,也与西安地裂缝的延伸方向相同。表明西安地区存在结构较为松散、介质强度较弱的巨厚沉积层,且其内部存在近北东向展布的地质结构,容易在外力的作用下发生破裂,为地裂缝的形成提供了构造基础。



1-盆地界线; 2-第四系厚度等值线/m; 3-钻井打穿第四系最大厚度/m。

图 3 渭河盆地第四系等厚度图

Fig.3 Isolines of the depth of Quaternary system in Weihe basin and its adjacent areas

2 渭河盆地及邻区震源机制解,应力应变与地裂缝的关系

我们研究了 1965 年以来渭河盆地及邻区的 3 级以上地震的震源机制(图 4),可见,渭河盆地及邻区构造应力场主压应力方向在 NE-NNE 向,倾角较大,主张应力方向在 NW-NNW 向,倾角较小,表明渭河盆地处于 NNW 向水平拉张应力场的作用下。这与断层滑动反演和地钻孔应力测量结果相近,且与大华北的区域应力场方向一致^[10-11]。受此区域地壳应力场制约,

渭河盆地的断裂活动应为北北西向拉张作用下的正断层活动。这和西安等地的地裂缝以垂直沉降和水平张开活动为主,呈 NEE 向展布等特征所反映的构造应力场相符合^[12],表明了地裂缝的构造特性。应变分布表明,盆地中部与南北两侧相比,张应变较大^[13]。在 NNW 向水平拉张应力场作用下,其为地裂缝的形成提供了更为宽松的的应力环境。这与渭河盆地中部西安地区地裂缝十分发育,咸阳、三原、临潼等渭河盆地中部地区也发育有多条大型地裂缝的事实相符合。

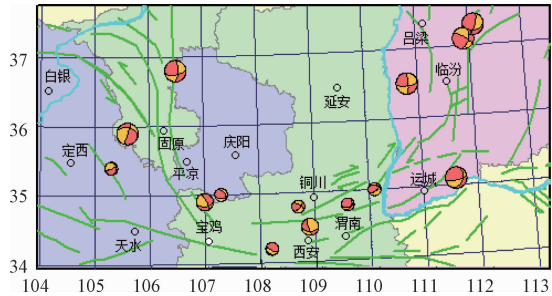


图 4 渭河盆地及邻区震源机制解

Fig.4 Earthquake focal mechanisms in Weihe basin and its adjacent areas

3 结论

综合渭河盆地及邻区介质品质因子分布、震源机制解与应力场和形变场特征的研究结果可知,渭河盆地地面沉降和地裂缝的形成和分布与深部构造密切相关:在渭河盆地的东部地区存在结构较为松散、介质强度较弱、内部存在近北东向展布地质结构的巨厚沉积层,在 NNW 向水平拉张作用下易引起正断层活动发生破裂,为地裂缝的形成提供了构造基础,在地表则表现为地裂缝等地质灾害。渭河盆地东部的西安地区位于地震波低 Q 值区的梯度陡变带边缘和第四系沉降梯度陡变带上,两梯度陡变带的延伸方向均接近北东向,与临潼—长安断裂的展布方向一致,也与西安地裂缝的延伸方向相同,表明了西安地裂缝的构造特征及其与深部断层活动的内在联系。

震源机制解的研究结果表明,渭河盆地处于 NNW 向水平拉张应力场的作用下,容易产生 NE—NEE 向的正断层活动,地表则表现为以垂直沉降和水平张开活动为主,渭河盆地地裂缝主要呈 NE—NEE 向延展且以水平张裂为主,是在这种应力场作用下,深部断层活动在浅部第四系地层中的反应。

形变和 GPS 观测的结果也表明,渭河盆地中部与南北两侧相比,张应变较大,在 NNW 向水平拉张应力

场的作用下,更容易产生 NE—NEE 向的正断层活动,从而为渭河盆地中部地裂缝的形成提供了更为宽松的的应力环境。与渭河盆地中部西安地区地裂缝十分发育,咸阳、三原、临潼等地区也发育有多条大型地裂缝的观测事实相符合。

可见,渭河盆地地裂缝,尤其是渭河盆地中部西安等地的地裂缝,是由特殊地质环境所孕生的,构造因素是主导,地震活动,超采地下水和地表水强渗透则进一步加剧了地裂缝的活动。

参考文献:

- [1] 张家明. 西安地裂缝研究[M]. 西安:西北大学出版社,1990.
ZHANG Jiaming. Research on ground fissures in Xi'an[M]. Xi'an:Northwestern University Press,1990.
- [2] 彭建兵,张俊,苏生瑞,等. 渭河盆地活动断裂与地质灾害[M]. 西安:西北大学出版社,1992:128—158.
PENG Jianbing, ZHANG Jun, SU Shengrui, et al. The activity fault and ground fissures disaster of WeiHe basin[M]. Xi'an:Northwestern University Press,1992:128—158.
- [3] 王景明,王江帅,刘金峰,等. 地裂缝及其灾害的理论与应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2000:389—407.
WANG Jingming, WANG Jiangshuai, LIU Jinfeng, et al. Theory of ground fissures and its application[M]. Xi'an:Shaanxi Science and Technology Press,2000:389—407.
- [4] 彭建兵,邓亚虹. 汾渭盆地地裂缝成因与构造活动研究工作项目报告[R]. 西安:长安大学,2009.
PENG Jianbing, DENG Yahong. Ground fissures causes and tectonic activity in Fenwei basin[R]. Xi'an:Chang'an University,2009.
- [5] 彭建兵,范文,李喜安,等. 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—440.
PENG Jianbing, FAN Wen, LI Xian, et al. Some key questions in the formation of ground fissures the Fen-Wei basin[J]. Journal of Engineering Geology, 2007,15(4):433—440.
- [6] 张茂省,董英,张新社,等. 地面沉降预测及其风险防控对策——以西安地裂缝为例[J]. 中国地质灾害与防治学报,2013,24(4):115—118,126.
ZHANG Maosheng, DONG Ying, ZHANG Xinshe, et al. Prediction of land subsidence and its mitigation methods—a case study in the new urban district of Xi'an-Xianyang. The Chinese journal of Geological Hazard and Control, 2013,24(4):115—118,126.
- [7] 李勇. 西安地裂缝常规监测及近期活动规律[J]. 中国地质灾害与防治学报,2014,25(1):33—37.
LI Yong. The monitoring methods and recent activities orderliness of xi'an fissure ground[J]. The Chinese journal of Geological Hazard and Control, 2014,25(1):33—37.
- [8] 张永久,赵翠萍. 紫坪铺水库库区介质衰减、台站响应和震源参数研究[J]. 地震地质,2009,31(4):664—675.
ZHANG Yongjiu, ZHAO Cuiping. Study of attenuation characteristics, site response and seismic source parameters of the Zipingpu reservoir region[J]. Seismology and Geology, 2009,31(4):664—675.
- [9] Singh S., Herrmann R. B. Regionalization of crustal coda Q in the continental United States[J]. Journal of Geophysical Research, 1983,88(B1):527—538.
- [10] 谢富仁,崔效锋,赵建涛,等. 中国大陆及邻区现代构造应力场分区[J]. 地球物理学报,2004,47(4):654—662.
XIE Furen, CUI Xiaofeng, ZHAO Jiantao, et al. Regional division of the recent tectonic stress field in China and adjacent areas[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2004,47(4):654—662.
- [11] 徐纪人,赵志新,石川有三. 中国大陆地壳应力场与构造运动区域特征研究[J]. 地球物理学报,2008,51(3):770—781.
XU Jiren, ZHAO Zhixin, Ishikawa Yuzo. Regional characteristics of crustal stress field and tectonic motions in and around Chinese mainland[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2008,51(3):770—781.
- [12] 陈红旗,张小趁,赵杰,等. 地裂灾害的区域稳定动力学探讨——以西安地裂为例[J]. 水文地质工程地质,2002,29(1):13—15.
CHEN Hongqi, ZHANG Xiaochen, ZHAO Jie, et al. 2002. The study on ground fracture with the regional stability dynamics: take Xi'an ground fractures as examples[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2002,29(1):13—15.
- [13] 瞿伟,张勤,王庆良. 渭河盆地现今地壳水平运动及应变特征[J]. 大地测量与地球动力学,2009,29(4):34—37.
QU Wei, ZHANG Qin, WANG Qingliang. 2009. Research on horizontal crustal motion and strain features of Weihe basin with GPS data[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2009,29(4):34—37.