

地震工程学报

CHINA EARTHQUAKE ENGINEERING JOURNAL

6



1998年6月
第28卷第6期
第123-124页

地震工程学报

DIZHEN GONGCHENG XUEBAO

第 43 卷 第 6 期 2021 年 11 月

目 次

地震研究

- 晋冀豫交界地区地壳三维速度结构与地震分布特征
..... 刘巧霞, 徐志萍, 邱 勇, 段永红, 姜 磊, 莘海亮, 赵延娜, 贾宇鹏, 张 丹 (1251)
- 基于数据挖掘的甘肃武都殿沟泉氡异常与地震活动统计关系研究
..... 刘春国, 余 丹, 陶志刚, 樊俊屹 (1263)
- 甘东南地球物理场异常与夏河 $M_s 5.7$ 地震关系分析
..... 苏鹤军, 曹玲玲, 范 兵, 李晨桦, 周慧玲, 马东正 (1269)
- 2020 年 7 月 12 日唐山 5.1 级地震分析 王 想, 周 依, 陈 婷, 王 时, 李小军 (1280)
- 1679 年三河—平谷 8 级地震地表破裂端部特征及其地质意义
..... 殷 娜, 李莹甄, 纪同娟, 余中元, 万 飞, 王艳萍, 贾建鹏 (1288)
- 多层介质中利用 sP_n 与 P_n 到时差确定震源深度的研究 王 瑶, 万永革 (1294)
- 基于 Android 平台的地震灾情采集系统的设计与实现
..... 余思汗, 雷启云, 刘 超, 杨 顺, 王 静 (1303)
- 浙江省珊溪水库地区土壤 R_n 和 H_2 地球化学特征
..... 阚宝祥, 沈 钰, 戴陈兵, 曾利萍, 张震峰, 张 帆, 于俊谊 (1310)
- 基于专利角度的防震减灾领域技术研发态势分析 季婉婧, 宋姗姗, 苏小芸 (1317)
- 临汾盆地北张地裂缝发育特征与成因分析 翟栋梁, 刘 川, 乔建伟, 赵俊彦 (1326)
- 2016 年阿克陶 $M_w 6.6$ 地震的同震断层滑动分布及库伦应力变化
..... 解 柳, 吴绍宇, 康明哲, 曾庆伟, 朱毅诚 (1334)
- 祁连山主动源观测台站场地响应分析 姜秀璇, 郭 晓, 范 兵, 邹 锐 (1343)
- 城市地震压埋人员分布评估研究——以天津市区为例
..... 谷国梁, 安立强, 朱 宏, 赵士达, 贺景刚 (1352)

地震工程

- 边坡稳定性分析及滑移面快速确定 叶帅华, 章瑞环, 袁中夏 (1361)
- 隔震与非隔震支座对混凝土箱梁桥地震易损性的影响 方圣恩, 唐永久 (1368)
- 地铁列车曲线运行引起学校建筑物振动响应分析
..... 夏志强, 凌可胜, 董克胜, 徐小扣, 沈 威, 方火浪 (1377)
- 基于双曲线模型的冻土中锚杆荷载传递特性研究 董旭光, 雷 肃, 万愉快, 孙国栋 (1387)

层状地基环形沟隔振效果影响因素分析	刘晶磊,刘鹏泉,尚康君,王 洋 (1394)
人工主余震作用下桥墩结构损伤预测评估分析	李喜梅,李明睿,母渤海 (1402)
地震诱发低角度黄土-泥岩滑坡动力响应及变形分析 .....	..... 王会娟,王 平,李旭东,钱紫玲,柴少峰,郭海涛 (1409)
高速铁路运行引发场地振动的空沟隔振分析	肖慧娟,董 尘 (1419)
螺旋箍筋约束套筒浆锚搭接的装配式剪力墙抗震性能有限元分析	王倩倩,王丽霖,孙海玲 (1429)
基于 SDOF 体系和高层结构的地震动强度指标研究	侯红梅,刘文锋,张怀超 (1436)
仿古建筑的隔震加固研究	张文龙,任文杰,付素娟,郝雨杭,刘杲彤 (1444)
地震波斜入射输入体系下坝后式厂房易损性分析 .....	..... 王洋洋,景月岭,黄友保,刘丙瑞,周召虎,何李浩 (1452)
基于地震记录的混凝土拱坝模态识别结果评价研究	武 璠,程 琳,杨 杰,郑东健 (1460)
二维梯形沉积盆地放大效应的数值模拟研究	包得志,荣棉水,喻 烟 (1472)
隧道与联络通道连接处地震响应分析	郭知一,周海祚,郑 刚,杨鹏博,张文彬 (1480)
基于概率密度演化的基础隔震结构随机响应分析	叶东繁,刘彦辉,秦 熙,谭 平,周福霖 (1487)
基于牛顿迭代法求解群速度的地震波射线追踪模拟	张定文,李卫东,段金龙,张学海 (1495)

CHINA EARTHQUAKE ENGINEERING JOURNAL

Vol. 43 No. 6 November, 2021

CONTENTS

- Three-dimensional velocity structure and seismic distribution characteristics in the juncture of Shanxi, Hebei, and Henan Provinces *LIU Qiaoxia, XU Zhiping, QIU Yong, DUAN Yonghong, JIANG Lei, XIN Hailiang, ZHAO Yanna, JIA Yupeng, ZHANG Dan* (1251)
- Statistical relationship between the radon anomaly of Diangou spring and seismic activity in Wudu, Gansu based on data mining technology *LIU Chunguo, YU Dan, TAO Zhigang, FAN Junyi* (1263)
- Relationship between geophysical anomalies in the southeastern Gansu and the Xiahe $M_{5.7}$ earthquake *SU Hejun, CAO Lingling, FAN Bing, LI Chenhua, ZHOU Huiling, MA Dongzheng* (1269)
- Analysis of the Tangshan $M_{5.1}$ earthquake on July 12, 2020 *WANG Xiang, ZHOU Yi, CHEN Ting, WANG Shi, LI Xiaojun* (1280)
- Characteristics of the surface rupture end of the 1679 Sanhe—Pinggu M_8 earthquake and its geological significance *YIN Na, LI Yingzhen, JI Tongjuan, YU Zhongyuan, WAN Fei, WANG Yanping, JIA Jianpeng* (1288)
- Determination of focal depth using the travel time difference of sPn and Pn waves in multilayer medium *WANG Yao, WAN Yongge* (1294)
- Design and implementation of an earthquake disaster information acquisition system based on Android platform *YU Sihan, LEI Qiyun, LIU Chao, YANG Shun, WANG Jing* (1303)
- Geochemical characteristics of soil gases Rn and H_2 in Shanxi reservoir area, Zhejiang Province *KAN Baoxiang, SHEN Yu, DAI Chenbing, ZENG Liping, ZHANG Zhenfeng, ZHANG Fan, YU Junyi* (1310)
- Research and development status of earthquake prevention and disaster mitigation technology from the perspective of patent *JI Wanjing, SONG Shanshan, SU Xiaoyun* (1317)
- Development characteristics and formation mechanism of Beizhang earth fissure in Linfen basin *ZHAI Dongliang, LIU Chuan, QIAO Jianwei, ZHAO Junyan* (1326)
- Co-seismic fault slip distribution and Coulomb stress change during the Aketao $M_{w6.6}$ earthquake, 2016 *XIE Liu, WU Shaoyu, KANG Mingzhe, ZENG Qingwei, ZHU Yicheng* (1334)
- Site response of active-source observation stations in the Qilian Mountains *JIANG Xiuxuan, GUO Xiao, FAN Bing, ZOU Rui* (1343)
- Assessment of seismic buried personnel in urban area: a case study of Tianjin urban area, China *GU Guoliang, AN Liqiang, ZHU Hong, ZHAO Shida, HE Jinggang* (1352)
- Stability analysis of slope and quick determination of slip surface *YE Shuaihua, ZHANG Ruihuan, YUAN Zhongxia* (1361)
- Seismic fragility of a concrete box-girder bridge with and without isolation bearings *FANG Sheng'en, TANG Yongjiu* (1368)
- Vibration response analysis of school buildings caused by metro trains running on a curved track *XIA Zhiqiang, LING Kesheng, DONG Kesheng, XU Xiaokou, SHEN Wei, FANG Huolang* (1377)
- Load transfer characteristics of anchors in frozen soil based on hyperbolic model *DONG Xuguang, LEI Su, WAN Yukuai, SUN Guodong* (1387)

Factors influencing the vibration isolation effect of annular ditches in layered foundation .....	.....
.....	..... <i>LIU Jinglei, LIU Pengquan, SHANG Kangjun, WANG Yang</i> (1394)
Damage prediction and evaluation of bridge pier structures under artificial mainshock-aftershock sequences .....	.....
.....	..... <i>LI Ximei, LI Mingrui, MU Bohai</i> (1402)
Dynamic response and deformation analysis of low-angle loess-mudstone landslides induced by earthquake .....	.....
.....	..... <i>WANG Huijuan, WANG Ping, LI Xudong, QIAN Ziling, CHAI Shaofeng, GUO Haitao</i> (1409)
Open trench isolation of site vibration induced by high-speed railway operation .....	.....
.....	..... <i>XIAO Huijuan, DONG Chen</i> (1419)
Finite element analysis of the seismic behavior of fabricated shear walls with spiral stirrup confined sleeve grout-anchor .....	.....
.....	..... <i>WANG Qianqian, WANG Lilin, SUN Hailing</i> (1429)
Ground motion intensity measures based on SDOF system and high-rise structures .....	.....
.....	..... <i>HOU Hongmei, LIU Wenfeng, ZHANG Huaichao</i> (1436)
Seismic isolation and reinforcement technique of imitated ancient buildings .....	.....
.....	..... <i>ZHANG Wenlong, REN Wenjie, FU Sujuan, HAO Yuhang, LIU Gaotong</i> (1444)
Vulnerability analysis of a powerhouse at dam toe under the input of obliquely incident seismic waves .....	.....
.....	..... <i>WANG Yangyang, JING Yueling, HUANG Youbao, LIU Bingrui, ZHOU Zhaohu, HE Lihao</i> (1452)
Evaluation of modal identification results of concrete arch dams based on seismic records .....	.....
.....	..... <i>WU Fan, CHENG Lin, YANG Jie, ZHENG Dongjian</i> (1460)
Numerical simulation of the amplification effect of two-dimensional trapezoidal sedimentary basins .....	.....
.....	..... <i>BAO Dezhi, RONG Mianshui, YU Yan</i> (1472)
Seismic response analysis of the joint between tunnel and cross passage .....	.....
.....	..... <i>GUO Zhiyi, ZHOU Haizuo, ZHENG Gang, YANG Pengbo, ZHANG Wenbin</i> (1480)
Random response analysis of base-isolated structures based on probability density evolution .....	.....
.....	..... <i>YE Dongfan, LIU Yanhui, QIN Xi, TAN Ping, ZHOU Fulin</i> (1487)
Simulation of seismic ray tracing based on Newton iteration method to solve group velocity .....	.....
.....	..... <i>ZHANG Dingwen, LI Weidong, DUAN Jinlong, ZHANG Xuehai</i> (1495)

翟栋梁,刘川,乔建伟,等.临汾盆地北张地裂缝发育特征与成因分析[J].地震工程学报,2021,43(6):1326-1333.DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2021.06.1326

ZHAI Dongliang, LIU Chuan, QIAO Jianwei, et al. Development characteristics and formation mechanism of Beizhang earth fissure in Linfen basin[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2021, 43(6): 1326-1333. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2021.06.1326

临汾盆地北张地裂缝发育特征与成因分析

翟栋梁¹, 刘 川¹, 乔建伟², 赵俊彦³

(1. 四川志德岩土工程有限责任公司, 四川 成都 610041;

2. 机械工业勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710043; 3. 长安大学 地质工程系, 陕西 西安 710054)

摘要:临汾盆地位于山西地堑系的南部,地裂缝灾害频发且成因复杂多样;特别是 20 世纪 90 年代以后出现在侯马凹陷盆地的地裂缝,发育规模大,灾害严重,给当地居民造成了严重的经济损失。以 2007 年出现在侯马凹陷盆地区的北张地裂缝为例,通过详细的地面调查和地表测绘查了地裂缝的平面展布特征,利用槽探揭示地裂缝的剖面结构特征。根据物探、钻探和 InSAR 监测结果,分析构造断裂和超采地下水与地裂缝的关系,并得出北张地裂缝的成因机理,并据此提出地裂缝的防治措施。

关键词:临汾盆地;北张地裂缝;发育特征;成因机理;防治措施

中图分类号: P642

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2021)06-1326-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2021.06.1326

Development characteristics and formation mechanism of Beizhang earth fissure in Linfen basin

ZHAI Dongliang¹, LIU Chuan¹, QIAO Jianwei², ZHAO Junyan³

(1. Sichuan Zhide Geotechnical Engineering Co., Ltd., Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. China Jikan Research Institute of Engineering Investigations and Design Co., Ltd., Xi'an 710043, Shaanxi, China;

3. Department of Geological Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Ground fissure disasters occur frequently in Linfen basin, which is located in southern Shanxi Graben System. The earth fissures formed in Houma depression, with large scale and severe disasters, have caused serious economic losses to local residents since 1990s. A case study of Beizhang earth fissures developed in Houma depression since 2007 was discussed in this paper. Through detailed surface investigation and mapping, the plane distribution characteristics of Beizhang earth fissures were found out. Furthermore, a trench was excavated which revealed the cross-section structure features of the earth fissures. According to the results of geophysical exploration, drilling, and InSAR, this paper analyzed the relationship among active fault, over-withdraw groundwater, and earth fissures. Finally, the formation mechanism of Beizhang earth fissures was obtained, and then some prevention measures were proposed to mitigate the hazards

收稿日期: 2018-03-10

基金项目: 中国地调局项目(121201001000150122, DD20160235); 国家自然科学基金青年项目(41202188)

第一作者简介: 翟栋梁(1992-), 硕士, 主要从事地质灾害的研究工作。E-mail: 2016126102@chd.edu.cn.

of Beizhang earth fissures.

Keywords: Linfen basin; Beizhang earth fissure; development characteristic; formation mechanism; prevention measures

0 引言

地裂缝是地球表面浅表部岩土体的拉张或剪切破坏现象,其几何形态多样,长度和宽度变化较大,地表表现形式多样,是一种典型的地面灾害之一^[1-3]。地裂缝所到之处,毁坏房屋、错断交通线路、破坏农田,严重影响着当地居民正常的生产与生活,并制约着所在区域的经济可持续发展^[4]。自 Leonard 首次报道了出现在 Picacho 盆地的地裂缝以来,吸引了大量地质工作者研究地裂缝^[5]。研究发现,地裂缝成因复杂多样,其影响因素有:超采地下水,地震,构造应力,黄土湿陷,滑坡等^[6-10]。

自 20 世纪 70 年代以来随着经济的快速发展,人类对地下资源的过度开采,导致地下环境失调,加之临汾盆地新构造运动活跃,使得该区成为地裂缝灾害的多发区之一。临汾盆地地裂缝最早出现于 20 世纪 70 年代的临汾市周边,随后逐渐向周边扩展,至 20 世纪 90 年代已扩展至侯马凹陷盆地,截止到 2013 年野外调查共发现 86 条地裂缝^[11]。

对于临汾地区地裂缝的研究,前人们主要针对 20 世纪 70 年代出现于临汾市区及周边地区地裂缝的分布特征、影响因素等进行讨论。如董东林等^[12-13]分别研究了临汾市地裂缝与开采地下水、新构造运动及地震活动的相关性;刘忠芳等^[14]将临汾市地裂缝成因种类总结为:地震、断层构造、地下水开采、黄土湿陷;董晓晓等^[15]将临汾市地裂缝分为:构造地裂缝与非构造地裂缝;乔建伟等^[16]概括了果场地裂缝的成因机理为:构造孕缝、抽水诱缝和降雨扩缝。但是,对于 20 世纪 90 年代以来出现的地裂缝,特别是侯马凹陷盆地地裂缝的研究较少。

本文以 2007 年出现的位于侯马凹陷盆地的新绛县北张地裂缝为研究对象,通过详细的野外地质调查,查明北张地裂缝的平面展布特征,利用一系列的地质勘探手段揭露地裂缝的剖面结构特征,分析北张地裂缝的成因机理并据此提出了防治措施。

1 地裂缝发育的地质环境背景

临汾盆地形成于晚第三纪的上新世时期,位于汾渭盆地构造带南部,南宽北窄,总体走向为 NNE,呈不规则梯形,盆地内活动断裂发育(图 1)。由于临汾盆地位于汾渭地堑系“S”型的转折处,因此临

汾盆地新构造运动强烈,具体表现为新断裂的出现和老断裂的重新复活,有着显著的继承性与不均匀性,表现形式主要为:活断裂扭动、错断、和拉裂新近系和第四系地层^[17-18]。同时伴随断裂带发生多次地震活动,其中破坏性地震主要为 1303 年的洪洞 8 级地震和 1695 年的临汾 7.7 级地震,这也是临汾盆地新生代地层破裂的主要成因^[19-20]。贺明华等^[21]对于临汾盆地新构造的研究指出,按照发育历史的不同和新构造活动特征的区别把临汾盆地划分为两个不同次级断陷盆地:侯马凹陷盆地和临汾凹陷盆地(图 1)。



图 1 临汾盆地地质构造图

Fig.1 Geological structure of Linfen Basin

临汾盆地内主要为冲洪积平原,地势由四周向汾河谷地内倾斜,汾河谷地内则表现为由西南向东北逐渐抬升,东西部的次级断阶上有黄土丘陵发育。盆地内上新统至全新统不同类型的沉积分布十分广泛;而且临汾盆地内不同时代的黄土分布广泛,最大厚度约 80 m^[22]。

临汾盆地属于半干旱、半湿润温带大陆性季风气候,年平均降水为 539 mm,其中 6 至 9 月份的降雨量约占全年降水量的 70%(图 2)。盆地内地下水含水

层在河谷平原区主要为细砂层、砂卵砾石层和河湖冲积相的亚砂土层,在倾斜平原区主要为亚砂土、亚黏土和冲洪积相的砂卵砾石。地下水位线由盆地中心向盆地边缘逐渐上升,最低处为汾河,地下水的径流方向表现为从盆地两侧的洪积扇区流向中间的汾河谷底。开采地下水的主要对象为中深层地下水,地下水的开采类型为松散岩类孔隙水。

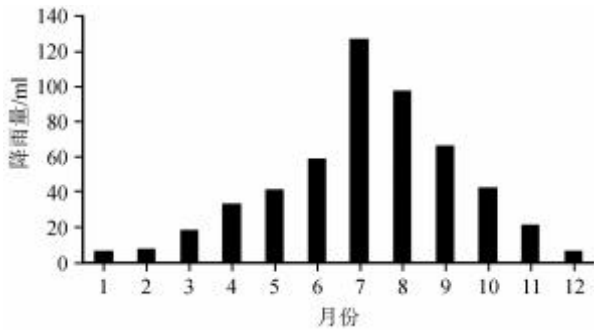


图2 临汾盆地平均月降雨量

Fig.2 The average monthly rainfall of Linfen Basin

2 地裂缝发育的基本特征

2.1 平面展布特征

北张地裂缝位于运城市新绛县北张镇,包含两条地裂缝,分别为 BZ1 和 BZ2,两条地裂缝呈弧形展布,近似平行,走向约为 $80^{\circ}\text{NE}\sim 120^{\circ}\text{SE}$,间距为 $103.9\sim 242.7\text{ m}$ 之间(图 3)。地裂缝在地表以水平拉张为主,没有明显的垂直位错,地表表现为串珠状陷坑或地裂沟以及导致房屋开裂。

BZ1 地裂缝出现于 2007 年 7 月的暴雨以后,最早出现于北董村村东田地内,随后向东扩展至北张村北张中学,至 2013 年已扩展至北行庄。地裂缝全长 3.2 km ,在西端北董村走向为 120° ,延伸至北张中学转为 90° 并一直延伸贯穿北张镇,至北行庄走向转为 80° 。地裂缝可见深度约 1 m ,最宽达 50 cm [图 3(f)];地裂缝对房屋墙体的破坏主要表现为拉张裂缝[图 3(a),3(e)]。



图3 北张地裂缝平面分布及典型照片

Fig.3 Distribution and typical pictures of Beizhang earth fissure

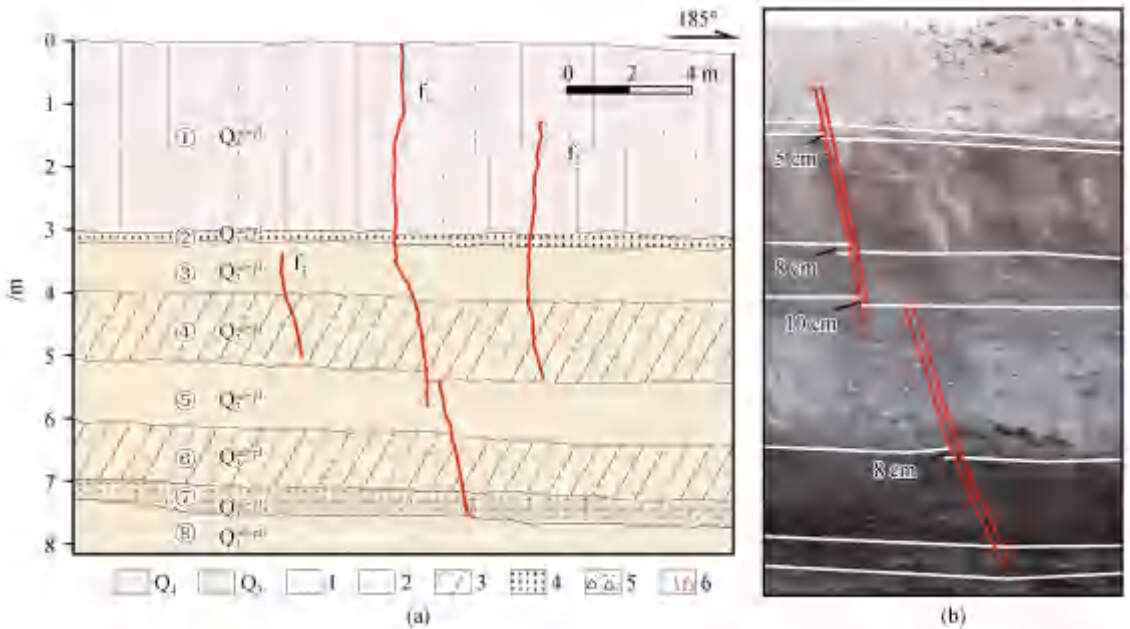
BZ2 地裂缝最早出现于 2009 年 7 月农田灌溉以后,地裂缝在北董村东侧田地中走向为 $\text{SE}120^{\circ}$,从向东延伸至北张村北侧时走向转变为 90° 并一直延伸贯穿北张村,至北行庄走向又变为 80° ,全长 2.7 km 。该条地裂缝发育较浅,主要出露在农田,地裂缝在地表主要表现为小型陷坑[图 3(d)]。

2.2 剖面结构特征

为了确定地裂缝两侧地层的位错情况和发育深度,在地裂缝地表灾害严重的北张村开展了探槽工作。探槽剖面共揭示 3 条地裂缝,从南向北依次为 f_2 、 f_1 、 f_3 ,破裂带宽度约 3.76 m ,如图 4 所示。其中 f_1 为主裂缝,分为上、下两部分,上半部出露深度范

围为 1.05~5.74 m,下半部分出露深度范围为 5.30~7.42 m。裂缝倾角上陡下缓,上部为 79°,下部为 64°,张开量 0.5~3 cm,上宽下窄,充填物为深褐色

淤泥,在第 2 层粉细砂处出现垂直位错约 5 cm,第 3 层位错 10 cm,第 4 和 5 层位错 12 cm,在裂缝底部处地层无位错。



1.第四系黄土; 2.粉土; 3.粉质黏土; 4.细砂; 5.结核层; 6.地裂缝

图 4 地裂缝浅层剖面结构

Fig.4 The shallow profile structure of Beizhang earth fissure

f₂ 裂缝为 f₁ 上盘的次级裂缝,出露深度范围为 1.18~5.34 m,倾角 61°~83°,填充有深褐色淤泥,两侧地层无错动,与主裂缝的间距为 1.61~1.92 m,两者近平行状发育。f₃ 裂缝为 f₁ 下盘的次级裂缝,出露深度范围为 3.38~4.97 m,倾角 65°~88°,填充有深褐色淤泥,两侧地层无错动,与主裂缝间距为 1.61~1.79 m,两者也近平行状发育。

2.3 活动特性

北张地裂缝在地表主要表现为水平拉张破坏,未见明显水平扭动和垂直位错现象。根据野外调查可知,地裂缝的活动性受降雨和灌溉影响显著,即地裂缝多在雨季活动性增强,尤其是在强降雨之后,容易显露于地表,并且在裂缝陷坑处有明显雨水冲刷现象。例如此裂缝的北张中学段,在 2012 年夏季的一次强降雨之后突然开启,显露地表并在北张中学操场上形成长 12.8 m,宽 50 cm,最深达 2 m 的连续陷坑[图 3(b),3(c)]。当裂缝出现于田地中时,都被当地农民整平,在强降雨或灌溉之后,由于表水的冲刷作用,整平的裂缝又会重新开启并显露地表。

3 地裂缝成因机理分析

由于北张地裂缝位于临汾盆地南部的侯马凹陷

盆地区,新构造运动活跃,且属于干旱半干旱地区。因此,从构造断裂和超采地下水两个方面分析北张地裂缝的成因。

3.1 构造断裂

临汾盆地内部构造断裂发育,地裂缝的形成很可能受下伏断裂控制。为了确定北张地裂缝与下伏活动断裂的关系,本文运用地球物理勘探和钻探手段揭示了地裂缝与下伏断裂的关系。地球物理勘探结果(图 5、图 6)表明,地裂缝两侧发育隐伏断裂,但地裂缝隐伏断裂具有一定距离,地裂缝不是隐伏断裂的向上延伸。钻探结果(图 7)显示地裂缝两侧土体连续,无隐伏断裂,进一步证明了地裂缝不是隐伏断裂的向上延伸。因此,推测构造断裂不是地裂缝形成的主要因素。

3.2 超采地下水

临汾盆地属于中国干旱半干旱区域,农业、工业和日常用水以地下水为主。自 20 世纪 70 年代以来,随着经济的快速发展,地下水的开采量逐年增加,且地下水开采井逐渐加深(图 8)。2007—2010 年期间,深井地下水的开采占 50%左右,是新绛县的主要供水来源。20 世纪 70 年代初期,该区地下水位约为 5 m,至 2012 年地下水水位下降至 35 m,地

下水位下降近 30 m,引起了严重的地面沉降。根据 2008—2012 年的 InSAR 监测结果(图 9),新绛县累计

最大沉降量达 50 mm,而北张地裂缝位于地面沉降的边缘。又由地裂缝的剖面特征显示,地裂像具有一定

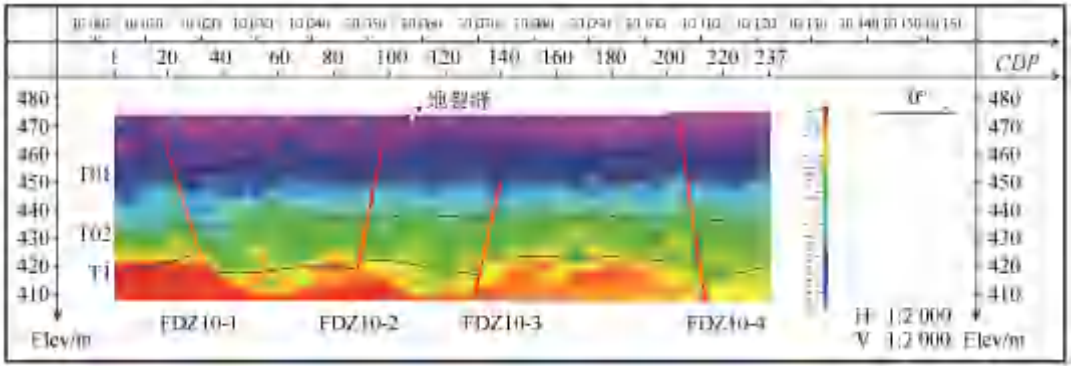


图 5 裂缝区浅层地震折射解释剖面

Fig.5 Interpretation of shallow seismic refraction profile

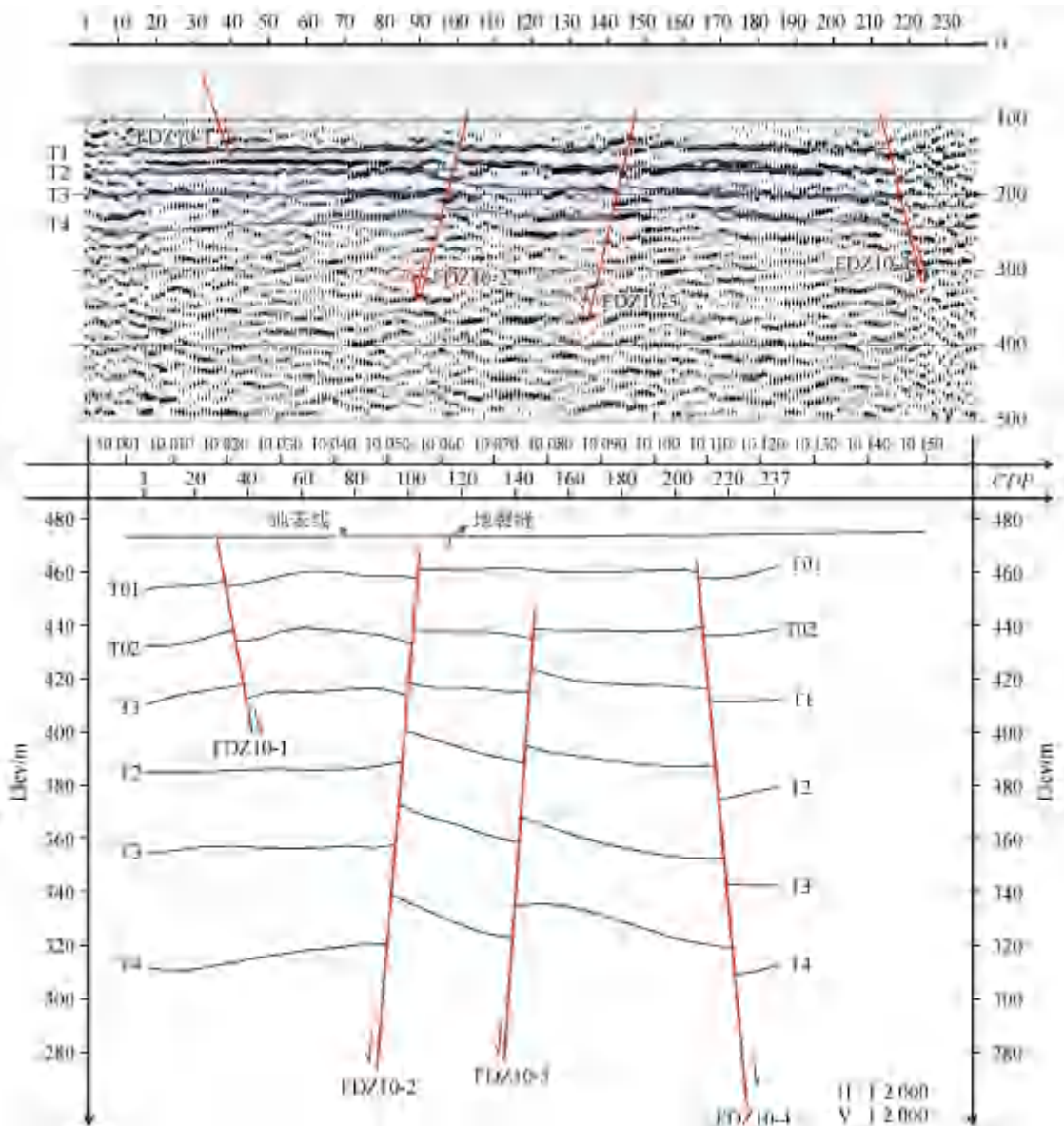
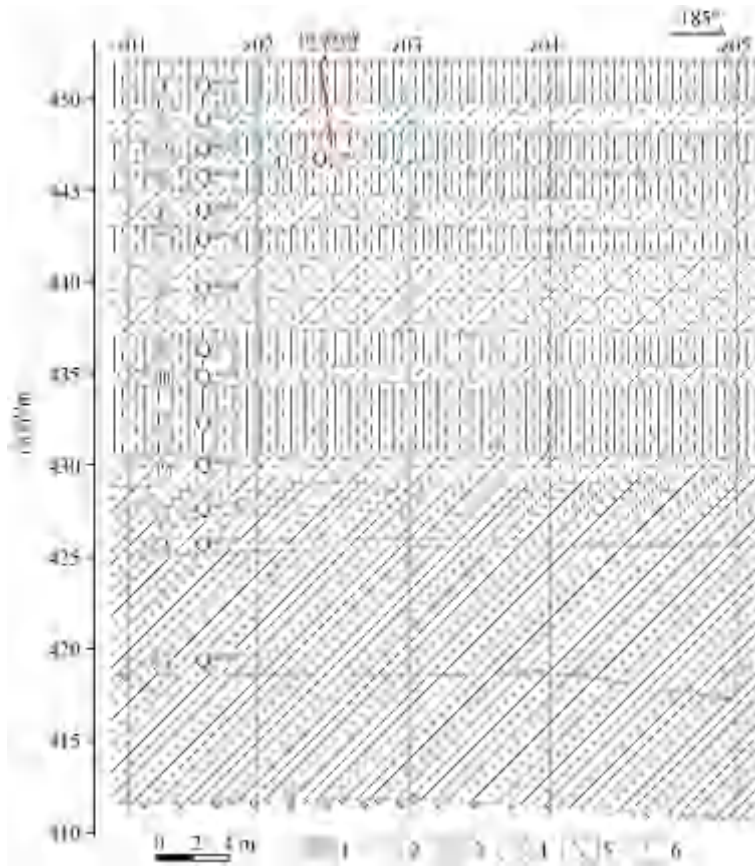


图 6 裂缝区浅层地震地质解释剖面

Fig.6 Interpretation of shallow seismic geological profile



1.第四系黄土; 2.粉土; 3.粉质黏土; 4.卵砾石; 5.地裂缝; 6.地下水位线

图 7 地裂缝工程地质钻探剖面图

Fig.7 Drilling profile of ground fissure

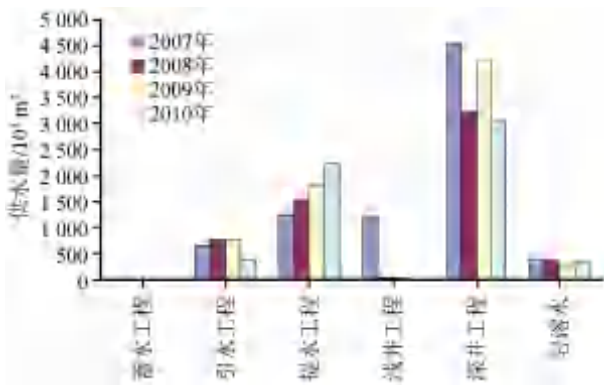


图 8 新绛县 2007—2010 年供水量组成

Fig.8 The water supply in Xinjiang County from 2007 to 2010

的深度,且地裂缝两侧地层位错不明显。因此超采地下水引起的地面沉降是地裂缝形成的主要因素。

3.3 成因机理

通过以上分析发现,北张地裂缝发育深度较浅,其超采地下水引起的水平拉张应力是地裂缝形成的外动力,由此形成的地面沉降,特别是不均匀沉降是地裂缝形成的主要因素。地裂缝出露地表以后,由于其宽度窄而细,其影响较小。但是,在强降雨或灌

溉以后,由于表水沿着裂缝处快速下渗,对裂缝两侧土体产生冲刷侵蚀作用,增加地裂缝的宽度,在地表形成地裂沟或陷坑。因此,北张地裂缝的形成原因是超采地下水和表水冲刷侵蚀的耦合。

4 防治措施

北张地裂缝已导致沿线房屋墙体开裂,农田出现大量陷坑,给当地居民造成了大量的经济损失,引起了人民的重视。为了减少或防止地裂缝的灾害进一步加强,切实保护北张地裂缝沿线居民的生命财产安全,根据北张地裂缝发育特征和成因机理,提出以下防治的措施和建议。

(1) 合理避让。调查过程中发现,北张地裂缝影响范围约 6 m,今后在修建建筑物时应尽量在影响范围以外修建。

(2) 控制地下水开采。长期超采地下水导致的地下水位下降,进而引起的地面沉降是北张地裂缝形成的主要因素。因此,合理控制地下水开采,特别是深层地下水的开采有助于减缓地面沉降的发生,进而有效地控制地裂缝活动。

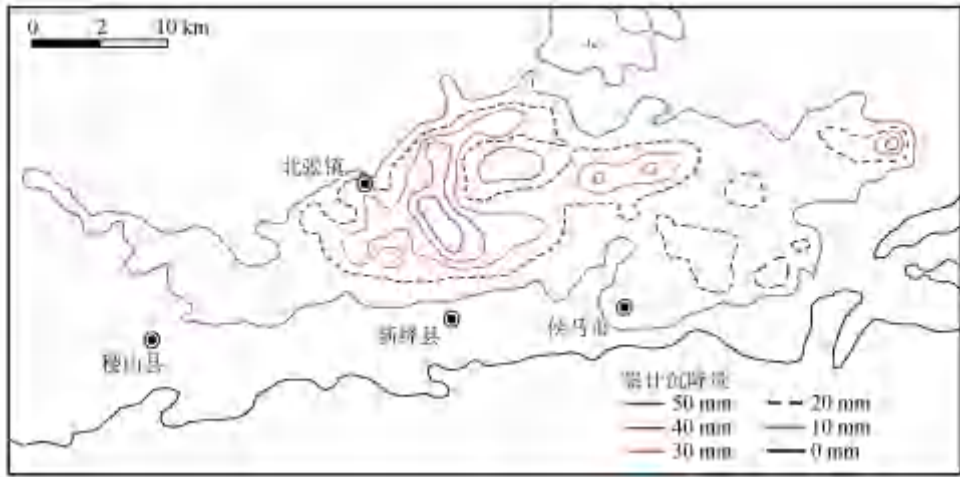


图9 新绛县2008—2012累计沉降量

Fig.9 The cumulative subsidence in Xinjiang County from 2008 to 2012

(3) 修建挡水埝。由地面沉降形成的初始地裂缝窄而细,破坏性小,强降雨或灌溉形成的表水入渗使地裂缝的破坏性迅速增加。因此,在地裂缝两侧修建土质挡水埝,阻止雨水或灌溉水流入地裂缝发育区,形成地表陷坑或地裂沟。

5 结论

(1) 北张两条地裂缝近似平行,呈弧形展布;地裂缝在地表主要表现为水平拉张,水平扭动与垂直位错现象不明显。

(2) 地裂缝在剖面上呈梳状分布,裂缝间破裂带宽度约为 3.76 m,地裂缝上宽下窄,发育深度有限,其中主裂缝发育深度最深,约 7.64 m。

(3) 北张地裂缝不与下伏断裂相连,构造断裂不是北张地裂缝的主要因素,地裂缝发育于地面沉降的边缘,影响因素主要是超采地下水引起的地面沉降,表水下渗是地裂缝的扩展因素,其成因是超采地下水和表水入渗侵蚀的耦合成因模式。

参考文献(References)

- [1] AYALEW L, YAMAGISHI H, REIK G. Ground cracks in ethiopian rift valley: facts and uncertainties[J]. *Engineering Geology*, 2004, 75(3-4): 309-324.
- [2] 赵忠海.北京地区地裂缝灾害的分布特征及其成因探讨[J]. *地质灾害与环境*, 2006, 17(3): 75-78.
- ZHAO Zhonghai. Discussion on the distribution characteristics and genetic type of the land crack in Beijing[J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2006, 17(3): 75-78.
- [3] BUDHU M. Earth fissure formation from the mechanics of

groundwater pumping[J]. *International Journal of Geomechanics*, 2011, 11(1): 1-11.

- [4] WU Q, YE S Y, WU X, et al. Risk assessment of earth fractures by constructing an intrinsic vulnerability map, a specific vulnerability map, and a hazard map, using Yuci City, Shanxi, China as an example[J]. *Environmental Geology*, 2004, 46(1): 104-112.
- [5] LEONARD R J. An earth fissure in Southern Arizona[J]. *The Journal of Geology*, 1929, 37(8): 765-774.
- [6] LI Y L, YANG J C, HU X M. Origin of ground fissures in the Shanxi graben system, Northern China[J]. *Engineering Geology*, 2000, 55(4): 267-275.
- [7] UN P, PENG J B, CHEN L W, et al. Weak tensile characteristics of loess in China—an important reason for ground fissures[J]. *Engineering Geology*, 2009, 108(1-2): 153-159.
- [8] 邓亚虹, 彭建兵, 慕焕东, 等. 渭河盆地深部构造活动的地裂缝孕育机理[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2013, 43(2): 521-527.
- DENG Yahong, PENG Jianbing, MU Huandong, et al. Ground fissures germination mechanism of deep structure activities in Weihe basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2013, 43(2): 521-527.
- [9] 邓亚虹, 彭建兵, 李丽, 等. 渭河盆地基底伸展与地裂缝成因关系探讨[J]. *工程地质学报*, 2013, 21(1): 92-96.
- DENG Yahong, PENG Jianbing, LI Li, et al. Causative relationship between basement stretching and ground fissures formation in Weihe basin[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2013, 21(1): 92-96.
- [10] WANG G Y, YOU G, SHI B, et al. Earth fissures in Jiangsu province, China and geological investigation of Hetang earth fissure[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2010, 60(1): 35-43.
- [11] 乔建伟, 彭建兵, 邓亚虹, 等. 临汾盆地地裂缝基本特征研究[J]. *工程地质学报*, 2015, 23(5): 856-865.

- QIAO Jianwei, PENG Jianbing, DENG Yahong, et al. The study on basic characteristic of earth fissure in Linfen basin [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2015, 23(5): 856-865.
- [12] 董东林, 武强, 孙桂敏, 等. 临汾地裂缝灾害与地下水开采关系[J]. *中国矿业大学学报*, 1999, 28(1): 90-93.
- DONG Donglin, WU Qiang, SUN Guimin, et al. Correlative relation between earth fissure hazards and over exploitation of groundwater [J]. *Journal of China University of Mining & Technology*, 1999, 28(1): 90-93.
- [13] 董东林, 武强, 姜振泉等. 析临汾地裂缝之地质成因[J]. *中国矿业大学学报*, 2002, 31(1): 37-41
- DONG Donglin, WU Qiang, JIANG Zhenquan et al. Analysis of geological genesis of earth fissure in Linfen City [J]. *Journal of China University of Mining Technology*, 2002, 31(1): 37-41.
- [14] 刘忠芳, 韩军青. 临汾市地裂缝灾害及防治对策研究[J]. *灾害学*, 2004, 19(增刊 1): 99-102.
- LIU Zhongfang, HAN Junqing. A study on the causes of ground fissure disasters in Linfen and the countermeasures [J]. *Journal of Catastrophology*, 2004, 19(Suppl01): 99-102.
- [15] 董晓晓, 韩军青. 临汾盆地地裂缝成灾机理与减灾研究[J]. *山西师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 26(1): 83-87.
- DONG Xiaoxiao, HAN Junqing. Genetic mechanism and alleviation of research for the ground fissures of Linfen basin [J]. *Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2012, 26(1): 83-87.
- [16] 乔建伟, 薛守中, 彭建兵, 等. 临汾盆地果场地裂缝成因机理分析[J]. *工程地质学报*, 2015, 23(4): 769-777.
- QIAO Jianwei, XUE Shouzhong, PENG Jianbing, et al. Analysis for mechanism of Guochang earth fissures in Linfen basin [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2015, 23(4): 769-777.
- [17] 张世民. 汾渭地堑系盆地发育进程的差异及其控震作用[J]. *地质力学学报*, 2000, 6(2): 30-37.
- ZHANG Shimin. Basin evolutionary differences and seismotectonics of Fenwei graben system [J]. *Journal of Geomechanics*, 2000, 6(2): 30-37.
- [18] 谢新生. 山西地堑系新生代共轭破裂与应力场、应变能密度分布[J]. *地壳构造与地壳应力文集*, 1998: 155-160.
- [19] 苏宗正, 袁正明, 赵晋泉. 1303 年山西洪洞 8 级大地震研究综述[J]. *山西地震*, 2003(3): 4-9, 22.
- SU Zongzheng, YUAN Zhengming, ZHAO Jinquan. A review on studies concerned with the 1303 Hongtong, Shanxi, earthquake of M8 [J]. *Earthquake Research in Shanxi*, 2003(3): 4-9, 22.
- [20] 丁国瑜. 关于公元 649 年临汾地震的讨论[J]. *中国地震*, 1998, 14(3): 41-45.
- DING Guoyu. A discussion on the Linfen earthquake of 649 A.D. [J]. *Earthquake Research in China*, 1998, 14(3): 41-45.
- [21] 贺明华, 苏宗正, 阎凤忠. 临汾盆地新构造格局与地震活动[J]. *山西地震*, 1988(4): 7-12.
- HE Minghua, SU Zongzheng, YAN Fengzhong. Neotectonic framework and seismic activity in Linfen basin [J]. *Earthquake Research in Shanxi*, 1988(4): 7-12.
- [22] 王克鲁, 盛学斌, 严富华, 等. 山西临汾盆地黄土及其形成古环境[J]. *地震地质*, 1996, 18(4): 339-348.
- WANG Kelu, SHENG Xuebin, YAN Fuhua, et al. The loess and the paleo-environment for its formation in the Linfen basin of Shanxi Province [J]. *Seismology and Geology*, 1996, 18(4): 339-348.