

文章编号: 1673-9469 (2018) 04-0070-04

doi:10.3969/j.issn.1673-9469.2018.04.015

隆尧地裂缝活动破坏特征及影响宽度分析

王林清, 马润勇, 万 阳, 王志浩, 常 江, 孙长明, 尚合欣

(长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 为准确判断隆尧地裂缝影响范围及致灾程度, 基于野外调查结果, 结合槽探和物理模拟试验, 分析了该地区地裂缝活动带影响宽度。结果表明, 隆尧地裂缝全长约 35 km, 折线状展布, 具有正断拉张、西段左旋、东段右旋走滑运动特征。地裂缝灾害发生区与内丘-巨鹿(隆尧南)断裂分布位置基本重合, 表明内丘-巨鹿(隆尧南)断裂是隆尧地裂缝的主控断裂。隆尧地裂缝灾害沿地裂缝呈带状分布, 地裂缝影响带主变形带为上盘 0~15m, 下盘 0~11m, 微变形带为上盘 16~46m, 下盘 12~28m。

关键词: 地裂缝; 槽探; 物理模拟试验; 隆尧县

中图分类号: P642.2

文献标识码: A

Analysis of failure characteristics and influence width of Longyao ground fissure

WANG Linqing, MA Runyong, WAN Yang, WANG Zhihao, CHANG Jiang,
SUN Changming, SHANG Hexin

(College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Shaanxi Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to accurately determine the extent of the ground fissure and the extent of the hazard of the Longyao ground fissure, the influence width of the ground fissure activity zone in the area was analyzed through the field survey results combined with trenching and physical simulation tests. The results show that the Longyao ground fissure has a total length of about 35 km and is distributed in a line-like manner. It has the characteristics of normal tensile extension, left-lateral rotation and east-lateral right-lateral strike-slip movement. The distribution of fractures in the ground fissure disaster area and the Neiqiu-Julu (Longyaonan) is basically coincident, indicating that the Neiqi-Julu (Longyaonan) fault is the main fault of the Longyao ground fissure. The cracks in the Longyao ground fissures are distributed along the ground. The main deformation zone of the ground fissure is 0~15m on the upper plate and 0~11m on the lower plate. The micro-deformation zone is 16~46m on the upper plate and 12~28m on the lower plate.

Key words: ground fissure; groove exploration; physical simulation experiment; longyao county

地裂缝已成为河北隆尧地区当前主要区域性地质灾害之一, 其多分布在人类聚居地与工程活动最强烈平原区。隆尧地裂缝在 20 世纪 60 年代起初现端倪, 但前人多注重于其分布发育规律及成因机制的分析研究^[1-2], 尚缺乏对其影响范围和致灾程度的分析判定。为该地区制定地裂缝灾害防治措施、为合理利用土地资源提供客观而科学的地质依据, 有

必要分析隆尧地区地裂缝活动带影响范围, 并进行风险性评价。

1 地裂缝分布特征

隆尧地裂缝分布在隆尧县城南、城东方向, 整体上看有很强的方向性和连贯性。在村内地裂缝多

收稿日期: 2018-08-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41572264)

作者简介: 王林清 (1993-), 男, 河北保定人, 硕士研究生, 从事地质工程方面的研究。

呈一字型或 Y 字型, 在农田中多以塌陷坑形式出现。全长约 35 km, 总体上可分为东西两段(图 1)。(1) 西段近 EW 向, 地裂缝带由西向东先后穿越周村、周张庄(N)、南小河、虎中、柏舍、显化寺、尧家庄(S)、西店子共 8 个村庄, 长约 20 km。地裂缝经过之处地表形成明显东西向陡坎, 北高南低, 位错幅度最高达 30 cm。(2) 东段近 NE 向, 顺序穿过东店马, 开河(S)、马栏(N)、任村(N)、西清湾、舍落口、毛儿寨共 7 个村庄, 长约 15 km。此段相对于西段并未形成明显陡坎, 且地裂缝在任村、西清湾一带出露断续。

2 地裂缝活动特征

隆尧地区在构造上处于宁晋 - 衡水断凸、邢衡隆起、临清断陷交汇处, 区内及附近分布有内丘 - 巨鹿 (隆尧南) 断裂等 11 条活动断裂^[3], 断裂优势

方向为 NE、NW、EW, 其中 NE 向断裂最为发育且活动性最强, EW 向断裂形成最早^[4]。隆尧地裂缝是区域构造应力场作用下的隆尧断裂活动所引起, 是深部断裂错动向上切穿了浅表土层之后透出地面, 属典型构造地裂缝^[5]。

隆尧地裂缝主要分布在隆尧县南部、东部人类聚集区和工程活动区,西段地裂缝呈左旋正断走滑运动特征,东段表现为右旋特征。整体走向与内丘-巨鹿(隆尧南)断裂的弧形形态极为相似,可见地裂缝对该断裂具有很好的继承关系。

据隆尧西店子探槽(图2),选取典型段(深度:0~50 cm,宽度:120 cm)微观上表示底部位错量与地表变形量的变化关系(图3)。探槽显示:(1)地裂缝有主次两条,整体纵向延伸,探槽自上而下有14个分层,均被地裂缝错断。其中,主裂缝f1上宽下窄,呈“y”状,地表裂缝拉张至80 cm,距地表约3 m深处变窄为1.5 cm。次裂缝f2宽度上下一致。(2)

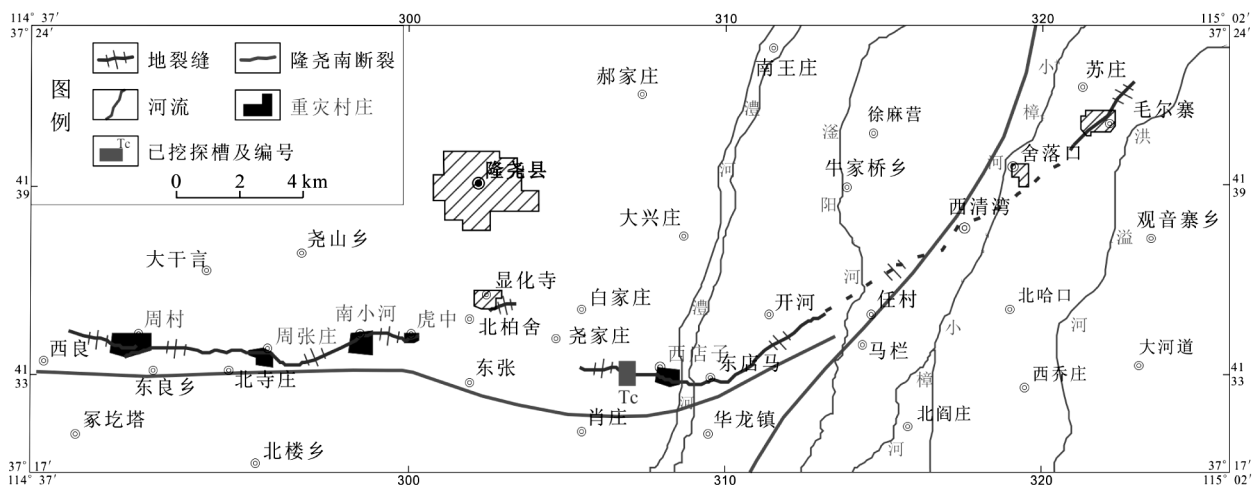


图 1 隆尧地裂缝分布图

Fig.1 Longyao ground crack distribution map

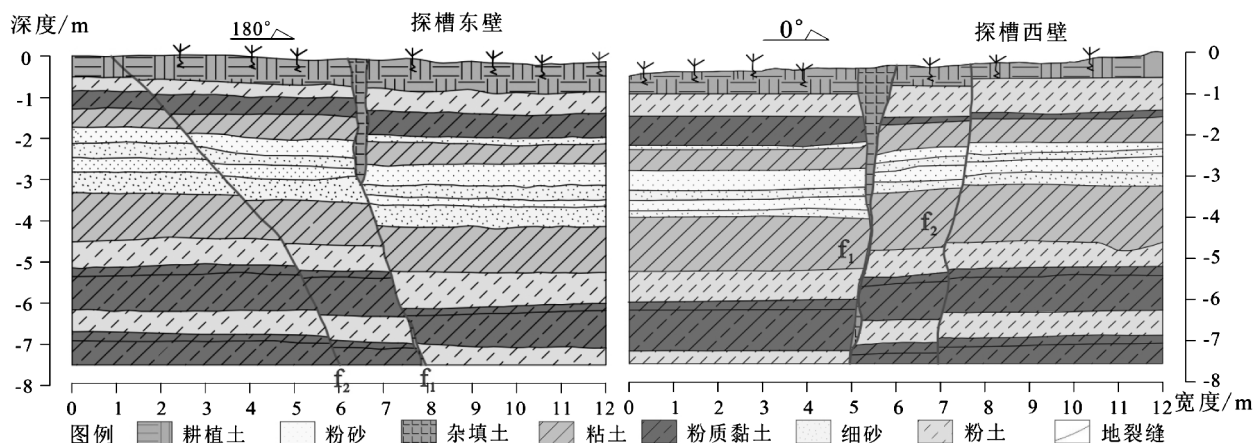


图 2 隆尧西店子探槽素描图

Fig.2 Longyao Xidianzi trench sketch

地裂缝的主体倾向为 NE175°, 倾角为 80°, 与隆尧南断裂产状基本一致。对比裂缝两侧土层位置及东西壁对应土层的厚度可以看出, 地裂缝具有正断左旋的特征, 其中主裂缝的最大垂直位移量达 0.5 m, 走向滑动错距达 12 cm。地层相对错动量随着深度的增加而增加, 探槽底部垂直错动量达到 69.6 cm, 且下盘地层厚度大于对应上盘厚度, 这表明该裂缝具有同沉积断层属性, 地裂缝活动与深部断层活动特征一致并具有统一的构造背景, 且地裂缝基于下伏断层向地表发展。(3) 裂缝充填有粉土、填土、耕植土等不同土体, 显示出此地裂缝活动并非是单次、独立活动事件。

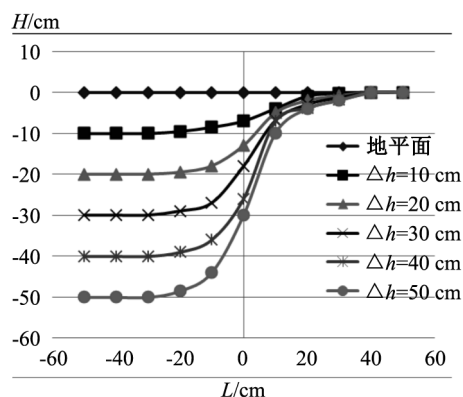


图3 底部位错量与地表变形量关系曲线

Fig.3 The relationship between the amount of bottom dislocation and the surface deformation

3 地裂缝的地表影响破坏特征

隆尧地裂缝西段穿越农田时以串珠状塌陷坑形式出现, 塌陷坑宽度 0.3~1.5 m, 最大可见深度 1.0 m。地裂缝经过村庄造成周村 36 户村民、周张庄村 67 户村民、南小河村 69 户村民、虎中村 59 户村、西店子村 51 户村民房屋及道路不同程度受灾, 建筑物均呈现南侧下沉现象。地裂缝变形最大处造成房屋倒塌, 墙体错位、道路路面龟裂、错断、加有圈梁的房屋地基开裂下沉、塌陷坑等灾害现象; 东段地裂缝多发现在农田中, 表现为串珠状塌陷坑, 深度约 60~70 cm, 未发现地表有明显高差及水平错动。

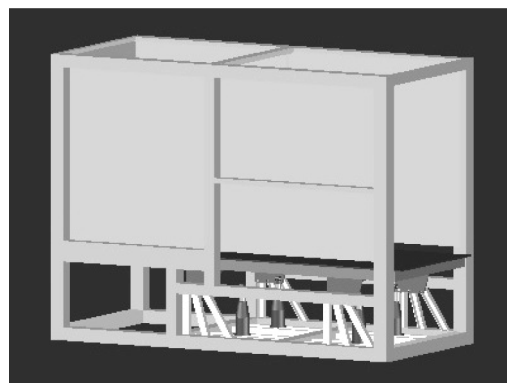
构造地裂缝上、下盘发生垂直位错, 隆尧地裂缝兼具拉张特征, 致使该区建筑物处于垂直沉降和水平张拉为主的应力状态下, 发生地基下沉、基础断裂、地面倾斜、墙体开裂、门窗变形等。基础的破坏与地裂缝的关系更为直接, 在一些基础整体性不好的建筑物上, 主地裂缝与上部建筑物的裂缝直

接贯通, 这类建筑物上的裂缝较集中, 但裂缝一般比较宽大, 即破坏情况较为严重。房屋墙体严重开裂, 有的甚至发生侧翻; 而整体性较好的建筑, 建筑物差异沉降不明显, 开裂多发生在建筑物受力薄弱地带, 如门窗与墙体接触位置, 但破坏和变形宽度较大。

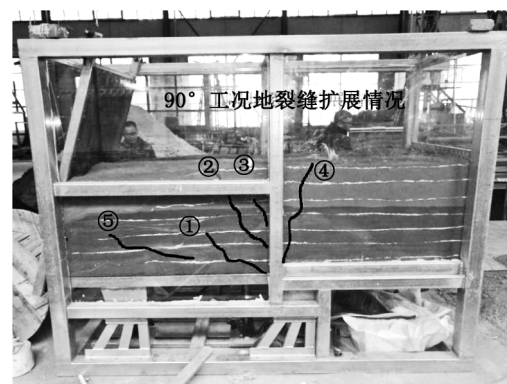
4 地裂缝活动带影响宽度分析

4.1 物理模拟结果

根据隆尧野外实际调查结果, 进行几何相似比为 1:50 的物理模拟试验, 还原地裂缝形成过程及结果 (图 4)。结果表明地裂缝活动的影响带宽度在动态上随模拟断层断距不断加大而增大, 在静态上距地表愈近而不断增大, 近地表处形成清晰可见的变形带。在地表呈近似弧线状影响带, 愈趋于地表影响带宽度愈大, 裂缝周围土体下陷, 并最终趋于极限值, 即地表受影响区域逐渐增加并趋于稳定值。本试验得到地表受影响区宽度达 156 cm, 其中包括 91 cm 宽的潜在影响区。地表裂缝处两侧土体位错变形最大、变形最为严重, 并垂直于裂缝向两侧辐射



(a) 模型箱图



(b) 模拟结果

图4 物理模拟试验

Fig.4 Physical simulation test

直至消失,且上盘地表区域辐射距离明显大于下盘。

由图5可知,本次试验地裂缝破裂扩展经历了初始破裂阶段、裂缝发展阶段和裂缝扩展至地表阶段。随着模拟断层断距的增大,主剪切区逐渐向上、向两侧发展,地表变形带宽度呈非线性增长,且增长速率随错动位移量呈负相关特征。

4.2 隆尧地裂缝影响区范围

地裂缝带建筑物破坏程度大小与地裂缝带的位置密切相关^[6-8]。调查中发现,对于没有跨地裂缝的建筑物,如距主地裂缝上盘100 m、下盘80 m以外,几乎没有破坏或破坏很轻;而跨主地裂缝的建筑,几乎无一幸免。其中地裂缝对建筑物的破坏程度与地裂缝和建筑物之间的距离呈负相关。距离越小,破坏程度和破坏面积愈大;距离越大,破坏程度和破坏面积愈小,即建筑物受损害程度和破坏面积随建筑物与地裂缝距离减小而显著增大。

断裂上盘形成拉张应变集中区域与在重力作用下Y方向位移分布情况相一致,下盘则是由于上盘挤压作用的结果^[9-10]。这表明除在断层处形成主变形带外,在其附近的区域也可能形成次级变形带。由于次级应变集中带于浅层的第四纪地层中,所以该地裂缝变形带属于浅表裂缝型应变集中带,由中心向南北不均匀辐射蔓延,地表变形程度依次递减。

《西安地裂缝场地勘察与工程设计规程》(DBJ61-6-2006, J10821-2006)规定:地裂缝影响区范围:上盘0~20 m,其中主变形区0~6 m,微变形区6~20 m;下盘0~12 m,其中主变形区0~4 m,微变形区4~12 m。据野外调查,隆尧地裂缝影响区范围上盘最大为46 m,下盘最大为28 m,超出此范围建筑物基本无破坏;槽探揭露的地裂缝变形带宽度上盘延伸至15 m,下盘延伸至11 m,超出此范围建筑物破坏程度锐减。探槽及其附近区域处于地裂

缝影响带的中心,其揭露的影响范围可作为主变形区。而物理模拟试验结果显示变形区为地裂缝两侧1.56 m范围内,相当于实际原型74 m范围内;地表变形区为地裂缝两侧0.65 m范围内,相当于实际原型26 m范围,基本符合模型几何相似比1:50。参照《西安地裂缝场地勘察与工程设计规程》(DBJ61-6-2006, J10821-2006),结合野外调查、探槽揭露以及物理模拟试验结果,得出隆尧地裂缝影响带主变形区为上盘0~15 m,下盘0~11 m,微变形区为上盘16~46 m,下盘12~28 m。这与规范中地裂缝上下盘主变形区之比、影响带主变形区微变形区之比的对对应关系基本一致。

5 结论

1) 隆尧地裂缝是典型构造地裂缝,全长约35 km,折线状展布,可分为东西两段。具有正断拉张、西段左旋、东段右旋走滑运动特征。隆尧地裂缝灾害发生区与内丘-巨鹿(隆尧南)断裂分布位置基本重合,且产状基本一致,表明内丘-巨鹿(隆尧南)断裂是隆尧地裂缝的主控断裂。

2) 隆尧地裂缝灾害发生区主要分布在隆尧县南部人类聚集区和工程活动区,共造成5个重灾区村庄282户村民不同程度受灾,多表现为村庄内形成位错达20 cm的陡坎,建筑物开裂倒塌。

3) 隆尧地裂缝影响带主变形区为上盘0~15 m,下盘0~11 m,微变形区为上盘16~46 m,下盘12~28 m。由于该地裂缝成完整折线状,致使隆尧地裂缝灾害沿地裂缝呈带状分布。主变形带内建筑物受损程度严重、受灾面积大,微变形带内建筑物受损程度相对较轻、受灾面积相对较小,变形带范围之外基本安全无影响。通过与隆尧县地裂缝灾害资料对比,可以发现结果与研究区实际情况基本吻合。

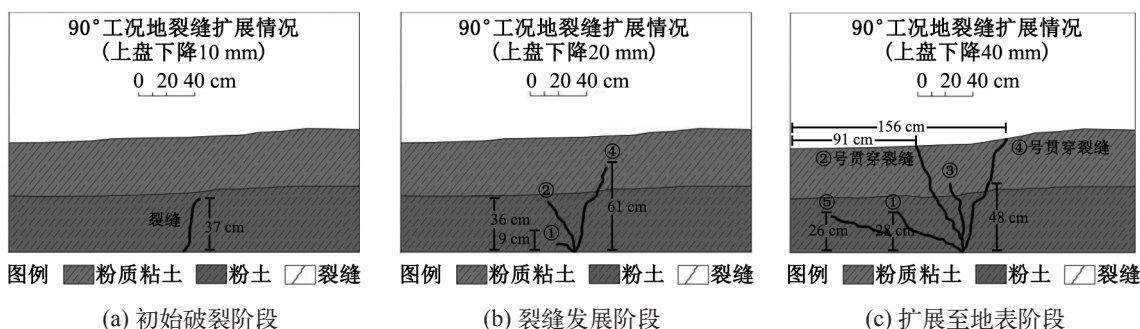


图5 裂缝发育过程

Fig.5 Crack development process

(下转第83页)

3) 建议采取边抽采边回填的方式进行开采,而不是开采之后对采空区进行再治理。

参考文献:

- [1] 孙富海, 孔源. 河北邯邢地区盐类矿产的成矿条件和远景分析[J]. 地质与资源, 2013, 22(5): 422-423.
- [2] 梁卫国. 盐类矿床水压致裂水溶开采的多场耦合理论及应用研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2004.
- [3] 郝铁生. 层状盐岩水平储库破坏机理及稳定性研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [4] 王新新. 我国石油储备发展策略研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2014, 29(10): 21-28.
- [5] 袁光杰, 夏焱, 金根泰, 等. 国内外地下储库现状及工程技术发展趋势[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(4): 8-14.
- [6] 姜德义, 任松, 刘新荣, 等. 岩盐溶腔顶板稳定性突变理论分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(7): 1099-1103.
- [7] 刘保县, 姜德义, 刘新荣. 岩盐溶腔顶板稳定性分析及其控制[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2007, 30(3): 133-135.
- [8] 白光顺, 张世涛, 朱杰勇, 等. 用弹性圆薄板理论分析盐岩单井水溶溶腔覆岩关键层[J]. 工程地质学报, 2015, 23(4): 634-640.
- [9] 侯景军, 何俊. 单井对流水溶开采盐矿采空区顶板破

断机理研究[J]. 矿业研究与开发, 2015, 35(4): 96-101.

- [10] 屈丹安, 施锡林, 李银平, 等. 盐穴储气库建槽工程实践与顶板极限跨度分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(S2): 3703-3709.
- [11] 施锡林, 李银平, 杨春和, 等. 盐穴储气库水溶造腔夹层垮塌力学机制研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(12): 3615-3621.
- [12] STAUDTMEISTER K, ROKAHR R B. Rock Mechanical Design of Storage Caverns For Natural Gas in Rock Salt Mass[J]. Int. J. Rock Mech & Min. Sci, 1997, 34: 3-4.
- [13] ALHEID H J, KNECHT M, LIIDELING R. Investigation of the long-term Development of Zones Around in Rock Salt[J]. Int. J. Rock Mech & Min. Sci, 1998, 35: 4-5.
- [14] 梁昆森. 数学物理方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998.
- [15] 吴家龙. 弹性力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [16] 张国斌, 宋金保. 河北辛集—宁晋石盐资源赋存特征与开发利用评价[J]. 河北煤炭, 2009, 7(4): 7-10.

(责任编辑 王利君)

(上接第73页)

参考文献:

- [1] 李世雄, 李守定, 郜洪强. 河北平原地裂缝分布特征及成因机制研究[J]. 工程地质学报, 2006(2): 178-183.
- [2] 李俊, 李金峰, 莫多闻. 河北平原地裂缝的分布规律及成因初探[J]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 62-65.
- [3] 姜凯勇. 河北隆尧地裂缝成因机理分析[D]. 西安: 长安大学, 2013.
- [4] 徐继山, 彭建兵, 马学军, 等. 邢台市隆尧地裂缝发育特征及成因分析[J]. 工程地质学报, 2012, 20(2): 160-169.
- [5] 马润勇. 华北平原典型地裂缝发育地段活动断裂调查

与构造应力场数值模拟研究[R]. 西安: 长安大学, 2009: 32-34.

- [6] 王景明. 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: 497-510.
- [7] 黄润秋. 地质灾害风险评价与管理[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 1-15.
- [8] 卢全中, 彭建兵, 赵法锁. 地质灾害风险评估(价)研究综述[J]. 灾害学, 2003(4): 60-64.
- [9] 张茂省, 唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践[J]. 地质通报, 2008(8): 1205-1216.
- [10] 陈志新. 地裂缝成灾机理及防御对策[J]. 西安工程学院学报, 2002, 24(2): 17-20.

(责任编辑 王利君)