

滋阳山地区地裂缝分布规律及成因

王超, 邹晔, 夏春英, 王应强, 薛良方

(山东省鲁南地质工程勘察院(山东省地质矿产勘查开发局第二地质大队), 山东 兖州 272100)

摘要: 为了解济宁市滋阳山地区地裂缝的成因机制,通过资料收集、地质测量、钻探、物探、遥感解译、山地工程、室内试验、水位动态监测、工程测量、综合分析等研究该地区的地裂缝现状及分布规律。结果表明:该地区主要出现6处地裂缝出露区;裂缝有直线型、交叉型和不规则塌坑型3种类型;地裂缝全部发育于林木种植地区,且该地区由农耕区变更为大面积种植林木之前,未见有村民反映的地裂缝相关报导,可推断地裂缝的出现和林木的种植关联性很强;经调查林木移植与地裂缝的产生有相关性;地裂缝在地表显现的方向与林木种植的行向方向一致;据推测地裂缝的垂向切割深度可能至膨胀土层底部。可见研究区控制地裂缝活动的首要条件是膨胀土的分布,其次是林木移植程度、林木种植以及水动力活动迁移条件。

关键词: 地裂缝; 分布规律; 膨胀土; 成因机制; 滋阳山

中图分类号: P694; **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)17-0301-11

地裂作用所形成的地表裂缝是一种由内、外应力以及人类活动等一系列因素的作用下引起的地面破裂现象。国内外对地裂缝主要成因研究有构造原因说^[1-4]、复合成因说^[5-8]、膨胀土胀缩说^[9-10]、地下水开采成因说^[11],成因模式可归纳为断层运动、次生重力、特殊土。地裂缝在国内的汾渭盆地、大同盆地、华北平原、晋中盆地、长江三角洲、松嫩平原、江汉平原、雷琼半岛等地多有分布,国内学者对不同区域的地裂缝进行了深入的研究分析,得出了一系列不同成因的成果^[12-20]。本地区地裂缝成因模式是在特定地质背景下,人类工程活动以及干湿交替的气候条件下,由水分的干湿循环作用导致,膨胀土上方种植的深根系绿化林木,不断吸收膨胀土层内的水分,造成失水收缩,在雨季或灌溉的条件下又吸水膨胀,林木根系的参与极大地促进了地表裂缝的形成,全国其他地区仅有雷琼半岛的桉树林地边缘出现的地裂缝与本区域形成的地裂缝成因接近。这为其他膨胀土地区地裂缝形成原因的研究提供了一个新的研究思路。

济宁市兖州滋阳山地区的丁郝、窦街、西滋阳等村2017年以来,林地内陆续出现地裂缝,致使灌

溉用水增加。丁郝及窦街村林地内的部分地裂缝延伸至房屋下,导致墙体及房屋开裂,严重危害了当地村民的生产生活秩序。滋阳山地区从未进行过地裂缝成因机理等方面的研究。本文依托“济宁市兖州区滋阳山区域岩溶塌陷及地裂缝勘查”项目,在该地区利用地质测量、遥感解译、地球物理勘探、工程地质钻探、山地工程、土样采集及室内试验、水位动态监测、工程测量等勘查手段,基于地裂缝形成的背景,分析研究区膨胀土胀缩的原因^[21]。本地区膨胀土与深根系林木协同作用产生裂缝,这在全国其他地区未见有相同成因的相关报道,可为本地区地质灾害防治与治理提供科学依据。

1 研究区域

滋阳山地区位于兖州凸起的西部,该凸起是一个东以峰山断裂、北以郛城断裂、西以孙氏店断裂、南以鳊山断裂为界的较为完整的构造单元,区域地层分布、构造发育均明显受控于以上4条区域性大断裂,受地壳抬升因素影响,在滋阳山地区形成了一座裸露于地表 of 滋阳山残丘山体(面积约0.14 km²),山体高度27 m左右,出露山体岩性为奥陶系马家沟群五阳山组白云岩,第四系厚度以滋

收稿日期: 2024-04-18

基金项目: 兖州区地质灾害风险普查项目(SDGP370882202102000132)

作者简介: 王超(1979—),男,山东枣庄人,正高级工程师,研究方向为水工环地质;邹晔(1982—),男,江苏宜兴人,硕士,正高级工程师,研究方向为水文地质、工程地质、环境地质;夏春英(1980—),女,江苏无锡人,高级工程师,研究方向为水文地质、工程地质、环境地质;王应强(1981—),男,陕西西安人,正高级工程师,研究方向为水文地质、工程地质、环境地质;通信作者薛良方(1990—),男,山东鄄城人,工程师,研究方向为地球物理勘探及遥感。

阳山岩体出露处最薄,向四周极速增厚,根据钻孔揭露第四系厚度数据显示,现有地裂缝显现区域第四系覆盖层厚度为80~190 m。

2 研究方法

根据滋阳山地区现有地裂缝位置分布的不同,将地裂缝编号为A、B、C、D、E、F区,并确定了包含地裂缝区域的48.7 km²的研究区。前期通过资料搜集分析、遥感解译、水位动态监测、地球物理勘探等手段,已排除了地震、构造、地下水开采、地下采矿等原因引起的该地区地裂缝;此外,从地裂缝区域挑选A、B、E、F区中的25条典型地裂缝进行了林业补充调查。调查内容为树种、胸径、种植时间、地裂缝出现时间、树冠展布长度、地裂缝处林木的行间距及列间距等。从表1的数据可知,地裂裂缝与两侧树木的距离无明显规律,沿着地裂缝延展方向裂缝与左侧及与右侧林木的距离均有,无明显规律,行距及列距的数值也不固定;产生地裂缝处树冠的大小不一,树干两侧的树冠距离相近,甚至无树冠处也出现地裂缝;研究区内地裂缝沿树行展

布,若是风力施加的外力影响造成了地裂缝,工作区内裂缝方向应基本一致,而实际上近南北方向和近东西方向的裂缝均有。综合以上分析,风力对林木产生的摇摆作用对地裂缝的产生位置无规律可言,因此风力与地裂缝产生的相关性小。

在地裂缝勘查过程中通过工程地质钻探手段首次发现该地区浅部6 m深度范围内存在膨胀土层,结合物探电测深解译确定了研究区膨胀土层的平面分布范围(图1)和顶底板三维埋深(图2)。

为了查清2017年之后该地区大面积出现地裂缝的现象,对研究区进行了林业生态环境调查,调查典型地裂缝25条及周边林木257棵,分析总结林木种植与地裂缝的关系,调查内容为林木种类、胸径、扎根深度、种植时间、种植期间是否对生长中的树木进行了移植、每年灌溉树木的时间及次数、林木的株距及行距等,调查面积约30 km²。在综合整理所取得的各种数据的基础上,系统分析研究区的水工环地质条件和区内地裂缝地质灾害的发育特征及分布规律,确定出地裂缝产生的成因机理。

表1 典型地裂缝与林木关系

裂缝编号	位置	裂缝两侧树种	裂缝出现时间	种植时间	树木胸径/cm	树冠展布长度/m	裂缝与周边树木距离/m	树木行距/m	树木列距/m
DJC-01	丁家郗西	法桐,单颞白蜡	2018年	2012年	15.9	东西4.0,南北3.8	向东0.7,向西3.1	2.1~2.67	3.8
DJC-02	丁家郗西	法桐	2018年	2007—2010年	14.3~15.9	东西4.0,南北3.8	向东3.0,向西3.0	5.0	6.0
DJC-08	丁家郗西	法桐	2018—2019年	2013—2014年	13.7	东西4.0,南北3.8	向南1.9,向北0.6	2.5	2.5
DJC-17	丁家郗西	法桐	2018年	2013—2014年	15.9~20.1	东西2.0,南北3.1	向南2.1,向北2.5	4.6	4.6
DJC-32	丁家郗西	法桐	2017年	2013年	18.2	东西2.5,南北2.4	向东1.0,向西1.4	3.0	2.4
DJC-36	丁家郗西	白蜡	2017—2018年	2012年	15.9	东西3.8,南北3.0	向东1.2,向西1.6	2.1~4.2	2.8
DJC-43	丁家郗西北	白蜡	2018年	2014年	14.6	东西3.0,南北2.5	向东0.9,向西2.2	2.0	3.1
DJC-46	丁家郗西北	白蜡	2018年	2013年	16.9	东西2.5,南北3.1	向南1.9,向北1.8	3.7	3.7
DJ-2	窦街东北	白蜡	2017年	2013年	9.6~13.5	东西3.2,南北3.1	向南1.0,向北1.2	2.68~3.5	2.2
DJ-5	窦街东北	法桐	2018年	2013年	15.9	东西3.0,南北3.1	向南2.3,向北1.0	2.0	3.3
DJ-10	窦街东北	法桐	2018年	2010年	15.9	东西2.2,南北2.3	向东1.5,向西0.5	3.1	2.0
DJ-14	窦街东北	法桐	2018年	2010年	19.4	东西3.0,南北2.8	向东0.1,向西2.8	5.4	2.9
DJ-20	窦街东北	北栎	2018年	2010年	13.4	东西3.0,南北2.2	向东2.2,向西2.2	4.4	4.4
DJ-20	窦街东北	大叶女贞	2018年	2010年	9.6	东西2.8,南北4.2	向东1.5,向西2.5	3.7~3.8	4.0
DJ-26	窦街东北	白蜡	2018年	2011年	20.4	无树冠	向东2.4,向西0.4	1.1~2.1	2.8
XZY3-0	西滋阳北	法桐	2018年	2012年	15.3	无树冠	向东0.6,向西3.3	3.5~3.7	3.9
XZY3-1	西滋阳北	法桐	2018年	2012年	13.7~15.3	无树冠	向东0.3,向西3.6	3.6~4.1	3.9
XZY-8	西滋阳北	白蜡、法桐	2018年	2012年	6.4~14.0	东西3.7,南北3.7	向东1.0,向西1.1	2.0~2.3	2.2
XZY-12	西滋阳北	法桐、白蜡	2017年	2012年	12.1~18.1	东西3.7,南北3.7	向东2.7,向西1.0	1.8~3.5	3.7
XZY-14	西滋阳北	白蜡	2018年	2012年	14.3	东西3.4,南北3.5	向东2.0,向西1.8	5.1	3.7
XZY-20	西滋阳北	法桐、白蜡	2018年	2012年	8.3~17.2	东西3.7,南北3.5	向东2.3,向西2.0	2	4.3
XZY-24	西滋阳南	白蜡	2020年	2019年	8.4	东西2.0,南北2.0	向东1.0,向西1.5	4.5~6.0	2.5
XZY-27	西滋阳南	法桐	2017年	2012年	15.9~19.7	东西3.3,南北3.3	向东1.6,向西1.7	2.7	3.3
XZY-34	西滋阳南	法桐	2018年	2013年	10.8~12.7	东西2.2,南北2.3	向东1.1,向西1.2	2.0	2.3
XZY-36	西滋阳南	白蜡	2017—2018年	2014年	11.5~12.7	东西2.5,南北2.5	向东1.2,向西0.8	2.8~6.2	2.0

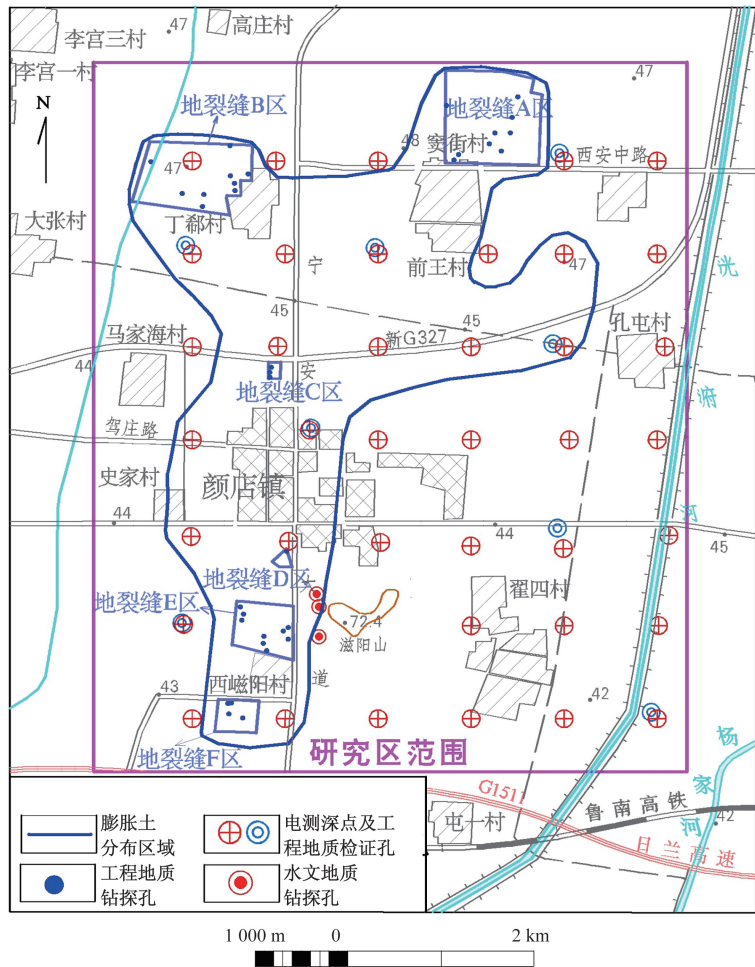


图1 研究区膨胀土平面分布范围

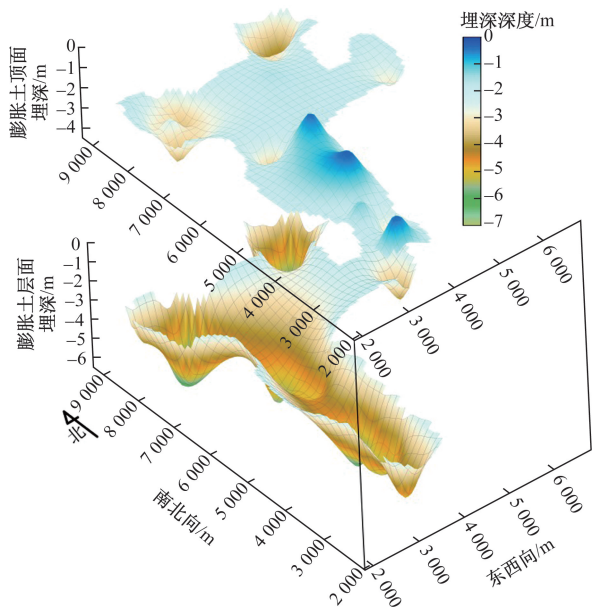


图2 研究区膨胀土顶底板三维埋深

3 研究结果

3.1 地裂缝发育现状

研究区共有6处地裂缝出露区,分别为丁郝村

西、窦街村北、颜店村北、颜家村西南、西盩阳北-洪庙村东北、西盩阳村西南一带。颜店村北、颜家村西南、西盩阳北-洪庙村东北、西盩阳村西南的地裂缝主要发生在盩阳山以西(宁安大道以西)区域,未造成房屋开裂,丁郝村西、窦街村北的地裂缝造成部分房屋墙体开裂(图3),地裂缝具体情况见表2,分布情况见表3。

3.2 地裂缝垂向分布深度

在A、B、C、E、F区共施工了8处探槽用于揭露地下地裂缝的形态特征(图4)。根据探槽施工地裂缝自地表向下延伸至3 m深探槽底部仍未消失,尖灭深度不详,根据文献[14,22]膨胀土引起的裂缝向下逐渐尖灭,切割深度受上层滞水及其他因素的影响各地有所差异,四川、湖北、安徽等地的切割深度一般在3 m以内,云南、广西等地达到3~5 m。这与工作区5 m大气影响深度内第②层黏土(膨胀土)的赋存厚度及埋深有关,该层厚度0.7~5.3 m,埋深0~5.3 m,说明工作区内地裂缝的切割深度可能至第②层黏土层底部。



图 3 房屋开裂及地裂缝

表 2 地裂缝情况

发生位置	发生时间	裂缝参数	规模	危害	现状
丁 郗 村 西、宴街 村北、颜 店村北、 颜 家 村 西南、西 滋 阳 北- 洪 庙 村 东北、西 滋 阳 村 西 南 一 带	最早出现 在 2014 年 2 月,2017 年 以 后 逐 渐 增 多,多 发 生 于 雨 后 及 灌 溉 季 节	地裂缝出 现的方向 与林木种 植的行向 方 向 一 致,地表 可见裂缝 宽度 10~ 50 cm,裂 缝长度大 多 小 于 40 m,以 10~30 m 居 多,最 长 约 120 m	小型 地裂缝	丁 郗 村 西及宴 街村北 多栋房 屋墙体 出现开 裂,林地 内出现 的裂缝 导致灌 溉用水 增多	部分裂 缝被填 平及墙 体出现 的裂缝 部分用 水泥抹 平,大 部分裂 缝保持 原状

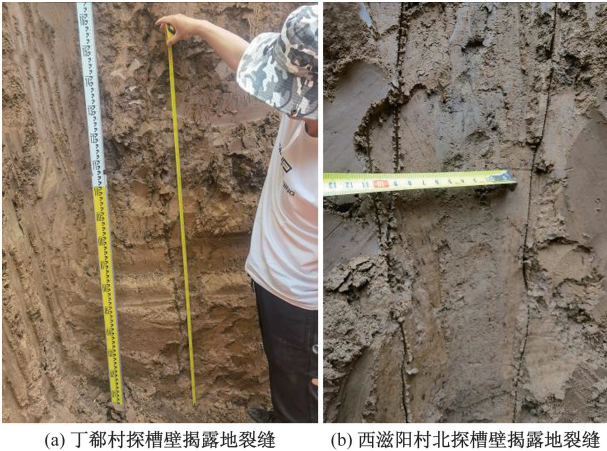


图 4 探槽揭露深度内裂缝

3.3 地裂缝地表形态及发育特征

3.3.1 地裂缝地表形态

研究区地裂缝类型有 3 种:直线型、交叉型和不规则塌陷型。

(1)直线型地裂缝。地裂缝平直伸展,走向稳定,整条地裂缝无转折或弯曲。裂缝长度大多小于 40 m,以 10~30 m 居多,最长约 120 m,深度大于 3 m。A 区、B 区、C 区地裂缝延展方向多以东西方向为主,E 区、F 区多以南北方向为主,其他区域地裂缝延展方向不固定,裂缝全部发育于成行成排的林木种植地区,往往平行于树行方向纵长发展。

(2)交叉或分叉型地裂缝。由两组不同走向的地裂缝彼此相互交切呈“V”形或 3 组地裂缝交汇于一点呈 Y 形,也有一条地裂缝在其一端沿另两组方向分支而成的。它们往往与另一组地裂缝相互穿

表 3 地裂缝分布情况

编号	分布位置	裂缝方向	裂缝数量/条	备注
A 区	宴街村北	东西	10	均与林木种植的行方向一致
		南北	10	
		弧形及 Y 形	4	
B 区	丁郗村西	东西	22	
		南北	20	
C 区	颜店村北	东西	2	
		南北	2	
D 区	颜村西南	东西	1	
		南北	0	
E 区	西滋阳北-洪庙村东北	东西	3	
		南北	18	
F 区	西滋阳村西南	东西	2	
		南北	15	

插与交织而构成网格状,裂缝深度及宽度与直线型地裂缝一致。该类型地裂缝仅分布于 A 区和 E 区。

(3)不规则塌陷坑型。裂缝以多处塌陷坑形式分布于地表,塌陷坑具有随机性,分布无明显的方向性,该类型地裂缝最显著的特点为塌陷坑数量多且分布于树林中,多发育于两行树之间的空地或树下。不规则塌陷坑直径最大 0.4 m,深度 0.3~0.5 m,大部分塌陷坑下部互相连通,在灌溉及雨水冲刷下,最终形成前两种裂缝形态中的一种显现于地表。塌陷坑分布于树林中空地上,6 处地裂缝区域均分布有该形态的裂缝。

3.3.2 地裂缝发育特征

(1)研究区处于汶河与泗河冲洪积扇的交接地带西侧,地貌形态为冲洪积平原的倾斜地小区,一般地裂缝多分布在泛滥坡地小区及泛滥洼地小区及河漫滩地小区内,此处也是山前地形坡度变缓、地势相对平坦的地区。

(2)研究区存在地裂缝的区域在 5 m 大气影响深度内,分布有粉质黏土和黏土,为一元结构土体。其他双层和多层结构土体未见地裂缝分布,地裂缝切割一元结构土体时,上下宽度和形变具有明显的变化,由于近地表上部为粉质黏土和耕植土,下部为较硬的黏土,该类土层中出现的地裂缝剖面多表现为上宽下窄的形态。

(3)地表裂缝宽度 10~50 cm,地表裂缝可见深度约 0.5 m,经施工探槽揭露地表以下裂缝宽度 2~6 cm,裂缝自地表向下延伸至 3 m 深探槽底部仍未消失,尖灭深度不详,地裂缝的切割深度可能至第②层黏土层(膨胀土)底部。

(4)地表地裂缝两侧未见明显差异沉降,为张性地裂缝,经施工探槽揭露裂缝缝壁粗糙,自上而下略有弯曲,极少直立产出,局部裂缝出现分叉,缝内大多被粉土或黏性土充填,极少段为空缝。

3.4 林木种植影响分析

对膨胀土分布区进行了 63 个地块的林业补充调查工作,调查内容为树种、胸径、种植时间、种植期间是否对生长中的树木进行了移植、每年灌溉树木的时间及次数、树木的株距及行距等(表 4)。

通过表 4 可知,地裂缝的产生是移植林木行为的充分不必要条件,说明移植林木只是地裂缝产生的诱因之一,需要其他诱因共同作用。根据现场调查访问,滋阳山地区在 2010 年之后由耕种小麦和玉米的粮食作物变更为大面积种植林木之前,未见有村民口述及反映的地裂缝相关报导,说明林木种植与地裂缝的出现具有相关性。

表 4 林业补充调查区情况

序号	地块编号	有无裂缝	有无移植林木	占比/%
1	丁 1、丁 3、丁 9、丁 11、 窠 1、窠 2、窠 3、窠 4、 窠 11、袁 6	有	有	15.9
2	丁 4、丁 5、丁 10、窠 6、 窠 7、袁 1、袁 2、颜 1、 颜 2、颜 3、宁德时代新 能源电池产业基地	无	有	17.5
3	其他 42 个地块	无	无	66.6

3.5 地裂缝分布规律

地裂缝灾害的发生与裂缝区所具备的地质环境条件及人类工程活动密切相关,具有以下发育规律。

(1)根据调查访问可知,地裂缝发生的时间季节性较为明显,一般发生在春耕灌溉季节及雨季,说明降雨及灌溉加速了地裂缝的形成。

(2)地裂缝发生区域经过本次工程地质勘探、室内土工试验及物探电测深解译,全部都有②层黏土分布,该层土具有膨胀性,厚度 0.7~5.3 m,埋深 0.0~5.3 m,非膨胀土分布区域没有地裂缝出现。

(3)裂缝多发育于树行间的空地或树下,绝大多数地裂缝出现的方向与树木种植的行向方向一致,有的地裂缝在树下根部或附近,有的在树行中间位置(图 5、图 6),裂缝旁边的林木多数曾经进行过移植后重新栽种。

(4)据调查地裂缝全部分布于林地中,所有长期粮食种植区(种植小麦和玉米的区域)没有出现裂缝,粮食作物区与林木种植区的空间距离相近甚至有交叉,土壤的质地、类型相同。林木种类多数为法桐和白蜡树,少数为北栎、大叶女贞。地裂缝地表延伸方向均限制在同一地块林地内,没有越过

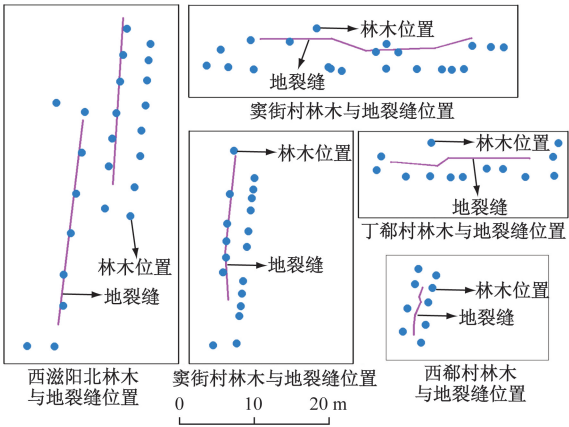


图 5 地裂缝与树木位置关系

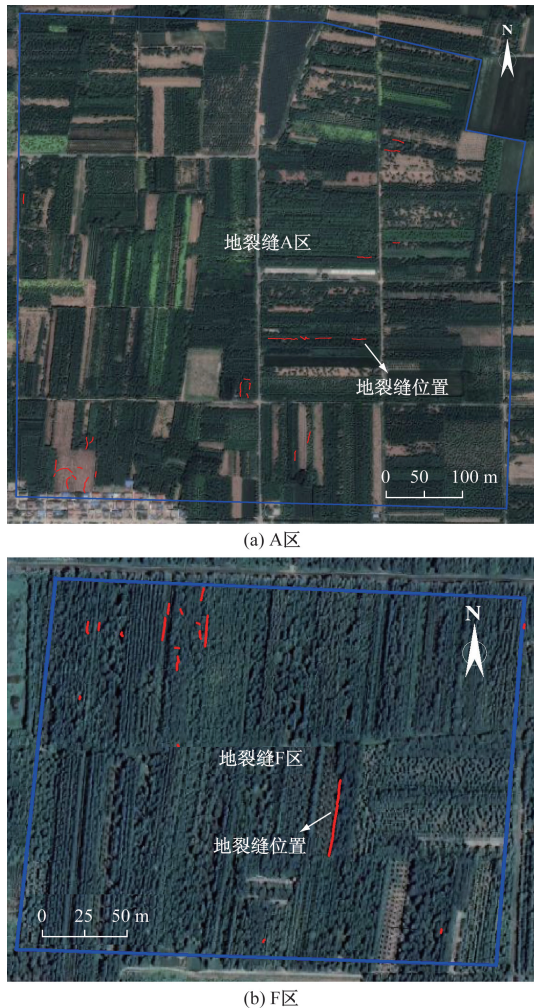


图6 地裂缝A区及F区分布

林地中沟渠地埂的现象。

(5)根据研究区内工程地质钻探揭露以及物探电测深解译的结果绘制出的膨胀土顶板埋深分区图(图7),叠合现有地裂缝分布,可以发现如下规律:约30%的地裂缝发生于膨胀土顶板埋深小于等于2 m的区域;约60%的地裂缝出现于膨胀土顶板埋深大于2 m、小于等于4 m的区域;约10%的地裂缝出现于膨胀土顶板埋深大于4 m的区域;按照如上规律可知地裂缝绝大多数发生于膨胀土顶板埋深小于4 m的区域,尤其以膨胀土顶板埋深大于2 m,小于等于4 m的区域居多。

4 讨论

国内大量文献资料显示,地裂缝大多不是单一成因引起的,多以一种原因为主,同时又兼具其他多种成因。因此,在分析地裂缝形成条件时,还要具体现象具体分析;不过就总体情况看,研究区控制地裂缝活动的首要条件是膨胀土的分布,其次是

林业移植程度以及水动力活动条件等。

4.1 主要因素

研究区已知发生地裂缝的区域,经工程地质钻探、室内土工分析并结合物探电测深解译,在0~5.3 m深度内分布有膨胀土地层,该膨胀土颗粒高度分散,成分以黏土矿物为主,经室内土工化验可知具有高塑性的特点,岩性定名为黏土,该黏土层含较多的黏粒,黏粒的亲水性强,干湿效应明显,具有遇水膨胀软化、失水收缩干裂的特性^[23],干旱季节土体结构易遭到破坏以至崩解,产生较大裂缝。

4.1.1 膨胀土的裂解性

膨胀土具有特殊发育和特殊形态的裂隙性质,以及失水极易开裂的特殊裂隙性质,属于第四纪时期的超固结裂隙土。从裂隙组合形貌上看,平面上为不规则多边形网状裂隙,空间上被切割成棱柱体或棱块体等形状。这些裂隙的性质与方解石的解理性质一样,可将土体不断按裂隙面解理,直至解理到小于1 cm³的土块时,仍然保留原有的结构特征。这种性质在表层土体和深层原状土体中均呈现规则解体的现象,这说明裂隙具有原生结构性,这些裂隙进一步发展并出露于地表,就成为膨胀土地裂缝[图8(a)]。

4.1.2 膨胀土裂隙形态

膨胀土的裂隙从形态上分为垂直裂隙、水平裂隙和斜交裂隙3种,其中以垂直裂隙为主。尤其在地面以下2 m范围之内最为常见,往下斜交剪切裂隙发育,并将土体切割成菱形小块,裂隙间距小而密集[图8(b)]。裂隙多由次生灰绿、灰白黏土充填,具油脂或蜡状光泽,可见镜面擦痕,有的裂隙面有铁锰质氧化物薄膜。密布的裂隙使土体具有不连续特性,促使出现若干软弱结构面,使得土体强度大大降低。与此相适应的是膨胀土具有失水时收缩、吸水时膨胀之特征,收缩时体积缩小,土质坚硬易脆裂,垂直和水平裂隙发育;膨胀时体积增大,土质柔软,裂隙变窄或闭合。

4.2 诱发因素

地裂缝诱发机制是以膨胀土的分布为基础,多种诱发因素共同作用形成的。

4.2.1 气候

鉴于膨胀土具有湿胀干缩之特点,在干旱季节,尤其在特大干旱之年,膨胀土常发生严重的干缩和产生大量的地裂缝,雨季膨胀土吸水后又急速膨胀,但这种胀缩变形是不可逆的,裂缝干缩张开量大于湿润膨胀闭合量,由此反复胀缩,差异越来越大。

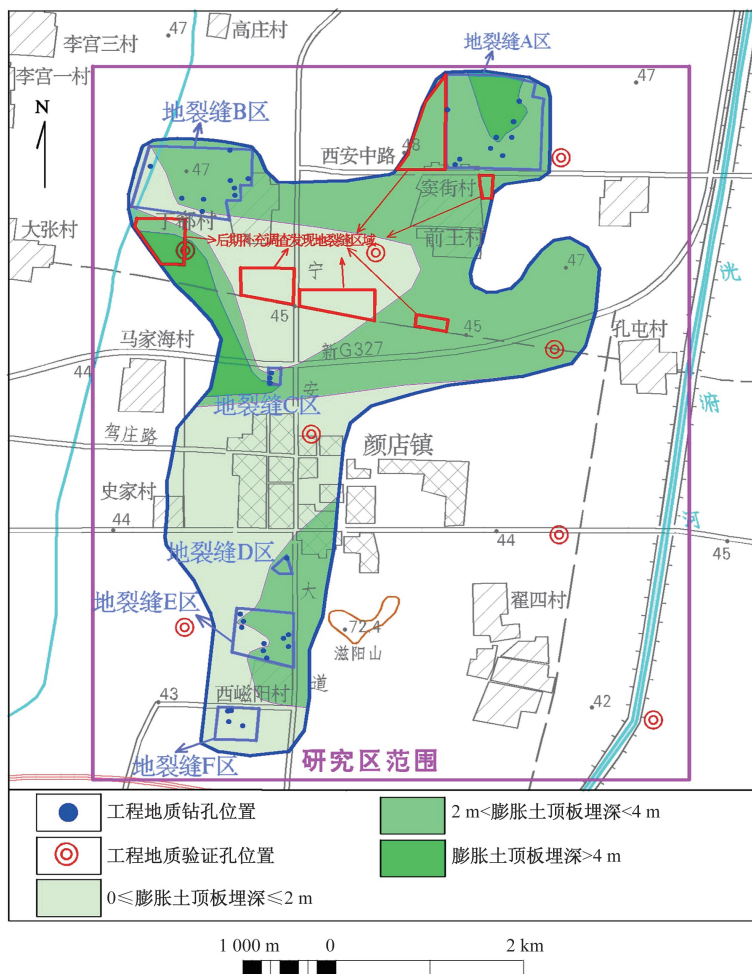
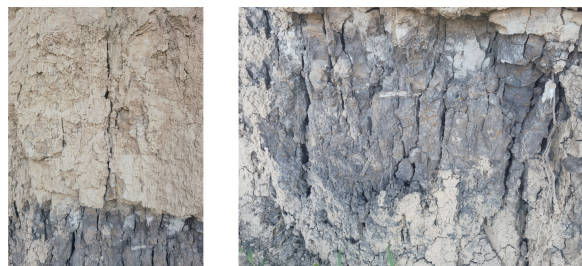


图7 膨胀土顶板埋深



(a) 裂缝沿膨胀土顶板向上延伸

(b) 地裂缝裂隙形态

图8 膨胀土的裂解及裂隙形态

根据近10年该区域长期水位动态监测资料显示,2017年及2020年水位相对较低,由于气候干旱,导致灌溉用水增多,这与该地区2017年以来地裂缝开始增多相吻合。

4.2.2 林木胀缩源的影响

该区域主要有两种用地方式,一种是种植农作物,另一种是种植林木。根据调查结果,地裂缝全部出现在林木种植区,而未出现在长期种植农作物的耕地内,可推断地裂缝的出现和种植林木关联性很强。滋阳山地区种植的林木为法桐、白蜡树、北

栎、大叶女贞,全部属于绿化苗木用于行道树栽植,属于落叶乔木类,属深根性树种。其根系分为水平根和垂直根,水平根一般要超出树冠范围,甚至达到树冠水平投影的2~3倍;垂直根入土深度一般小于树高,行道树的定干高度,在同一条道路上要保持一致,一般以3~4m为宜,因此成年行道树种根系深度在3m以上[图9(a)],地下根茎较为发达[图9(b)及图10(a)],干旱季节或夏季由于植物蒸腾作用,水分便从叶子的气孔和表皮细胞蒸腾到大气中,迫使根系被动从土壤中吸收水分,此外植物根系还利用根压进行主动吸水^[25],进而造成根系四周的膨胀土土体失水收缩[图10(b)]。在树木成行成排地区,地裂缝往往平行树行方向纵长发展,有的可达数十米至百余米长,这与该地区地裂缝在地表平面上的分布形式高度吻合,说明林木根系深入膨胀土层内吸收水分造成了膨胀土层失水,造成膨胀土层中含水量分布不均,促使了膨胀土层中裂隙张开。此外种植林木种植深度在50cm~1m不等,影响土壤深度较种植农作物耕作的土壤深度



图 9 林木根系深入膨胀土层中以及林木根系发达

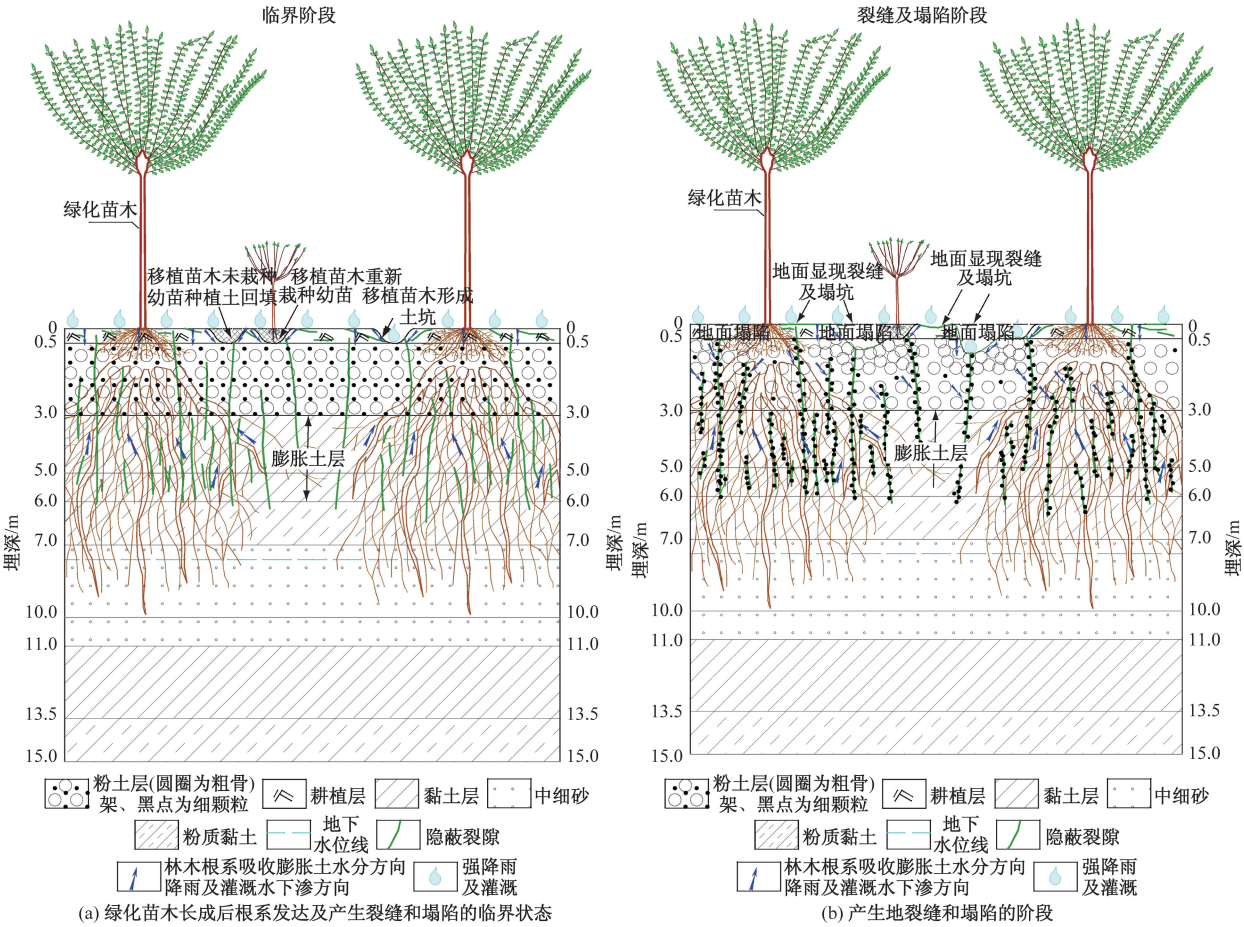


图 10 绿化苗木根系发达及产生裂缝和塌陷的临界状态、产生地裂缝和塌陷的阶段

30 cm要深得多,农作物的扎根深度也较浅,相同条件下林木根系更接近或更容易深入膨胀土层吸收水分造成膨胀土层失水,这就是该地区农作物种植区未见地裂缝出现的原因。

4.2.3 地下水与地表水的分布

水是影响膨胀土发生胀缩的重要因素,水分的迁移方式在膨胀土地裂缝发育过程中具有极其重

要的作用。在地下水埋藏较浅和水位稳定的地区,膨胀土地裂缝不发育。根据该区域近 20 年长期动态水位监测资料显示该区地下水位始终在膨胀土底板标高以下波动,且最高水位低于膨胀土底板 1.9~4.8 m,因此区域浅层地下水位的升降不会导致膨胀土发生胀缩。

膨胀土层位于地下水位与地表之间,灌溉水及

雨水通过粉土和膨胀土层补给到含水层中,膨胀土层起到了拦截过境水分的作用,干旱季节因失水及根系吸收膨胀土层水分形成的裂缝向上扩展延伸到地表以下,形成隐伏裂隙,在灌溉和雨水的冲刷、渗透、浸润作用下,膨胀土顶部的粉土层含水量迅速增大,并率先达到饱和,土粒之间的连接迅速减弱,粉土层中细颗粒被渗漏的水冲蚀、潜蚀、搬运,造成裂隙逐步扩大^[24],上部土层在重力作用下坍塌冒落,致使裂缝开始显现,成串珠状地表塌陷坑,随着地表水流的不断下渗和侵蚀,裂缝扩大完全显露于地表。该地区地裂缝全部在灌溉及雨季出现,说明地表水加速了地裂缝显现于地表,地表水和强渗透性径流条件是诱发地裂缝的因素之一。从地裂缝的延伸方向及范围上看都基本限制在人为平整的某一地块内,没有越过人为修建的地沟和地埂,基本可以排除地裂缝的出现是因为地下构造运动的影响,另外地裂缝只出现于某一地块,这是该地块灌溉频次较低、造成膨胀土反复干旱失水、吸水膨胀产生地裂缝的原因。

此类地裂缝的主导控制因素是包气带内膨胀土失水产生裂隙,地表水的渗透、冲刷作用是诱导因素。

4.2.4 林木移植的影响

根据地裂缝的形态和在林地中的走向,可以推断地裂缝的出现和林地的人为生产活动关联性很强。林木在出售时,在树行中挑选移走林木,移植时人为频繁的带土坨移动林木产生的树坑,即使覆土后土壤密实度也急剧下降,会大大影响树行方向浅表土壤的结构;灌溉及降雨后土壤的密实度发生变化,使得水分得以快速经过粉土层下渗到膨胀土中造成吸水膨胀,在干旱时又失水收缩产生裂缝,是促成土壤回填后出现地裂缝的方向大部分都沿着树行方向的原因。塌坑裂缝的大小和形状与移树时挖树坑的大小和形状高度吻合,也进一步说明裂缝的出现与林地苗木培育与出售后挖出的树坑

关系密切。根据调查,该地区移树时间多数集中在树木种植的4~6年后,林木种植初始时间大多数为2010—2014年,因此树木伐树集中出现在2016—2018年,这与该地区2017年以来陆续出现地裂缝的时间吻合,林木移植后多在原树坑位置补种幼苗林木;2021—2022年,因绿化树木市场达到饱和,绿化树木价格持续走低,加之政府部门要求退林还耕,该政策在逐步实施推进中,当地林农开始大面积伐掉绿化树木,将一整块农田的林木全部伐掉,此后该类型地块大多数种植小麦及玉米,经调查该类型地块未再出现地裂缝,说明退林还耕改种农作物能有效避免地裂缝的产生。

综上所述,该地区地裂缝的出现主要是膨胀土的分布,膨胀土具有湿胀干缩的特点,是造成工作区内地裂缝显现的主因。加之由于耕地土地性质改变为林地后,由于树木生长时树根较农作物的根系深度来说扎得较深,较粗壮树木根系可达3~5 m,甚至更深,根系扎根影响到较深层的膨胀土层;林木移植时人为频繁的带土坨移动树木产生的树坑,会大大影响土壤的结构;灌溉后土壤的密实度发生变化,快速下渗的水分也会造成膨胀土的局部含水量不均。另外树坑下存在的根系一是促进了地表水快速下渗至膨胀土层造成膨胀土吸水膨胀,二是植物根系吸收周边土壤水分较多,造成根系周边膨胀土层含水量不均,致使膨胀土失水收缩产生裂缝,不断地反复吸水膨胀,失水收缩,促使了膨胀土层中裂隙张开。以上几种因素的综合作用,是导致该地区部分区域出现地裂缝的原因。因此,膨胀土的分布是地裂缝产生的主因,林木种植及移植和地表水则为诱发因素,并共同促进了地裂缝的发展,区内产生地裂缝机理如图11所示。以上研究是根据现有的地质及可能的诱因条件下综合分析得出,部分条件尚未取得直接的证据,下一步应在室内建立模型试验,取得各种诱因条件对膨胀土产

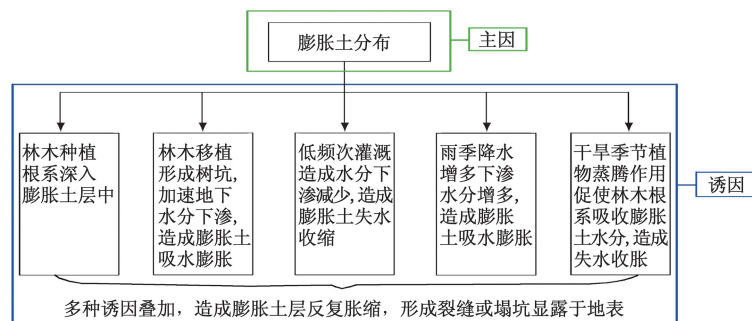


图 11 研究区地裂缝成因机理

生胀缩的关键数据用于支撑本研究。

5 结论

本文对滋阳山地区 109 条地裂缝进行综合研究,根据其发育现状、地表形态、发育特征、分布规律得出如下结论。

(1)滋阳山地区主要共出现 6 处地裂缝出露区;裂缝类型有直线型、交叉型和不规则塌坑型 3 种类型。地裂缝走向规律性强,裂缝全部发育于林木种植地区,地裂缝出现的方向与林木种植的行向方向一致,地表可见裂缝宽度 10~50 cm,地表裂缝可见深度最大约 0.5 m,裂缝长度大多小于 40 m,以 10~30 m 居多,最长约 120 m。

(2)经施工探槽揭露地表以下裂缝宽度 2~6 cm,裂缝自地表向下延伸至 3 m 深探槽底部仍未消失,尖灭深度不详,据推测地裂缝的垂向切割深度可能至第②层黏土层(膨胀土)底部。裂缝缝壁粗糙,自上而下略有弯曲极少直立产出,局部裂缝出现分叉,缝内大多被粉土或黏性土充填,极少段为空缝。

(3)对膨胀土分布区进行了 63 个地块的林业补充调查工作,其中 10 个地块有过移植林木且有地裂缝产生。11 个地块有过移植林木未产生地裂缝,该类型地块已退耕还林改为农耕地,此手段可有效避免地裂缝的产生。另有 42 个地块未移植林木未产生地裂缝。

(4)该地区膨胀土的分布是造成地裂缝的主因,干湿交替的气候、低频次灌溉、降雨、林木种植及移植是诱发因素,林木移植及低频次灌溉导致地表水下渗到膨胀土层水量不均,林木根系根吸收膨胀土层周围的水分亦使得膨胀土层含水量不均,膨胀土层含水量的不均引起膨胀土层反复吸水膨胀失水收缩的原因,该地区地裂缝成因机理研究为今后减轻或避免继续产生地裂缝提供了科学依据。

参考文献

- [1] 孙林,安海波. 郟庐断裂带中段沿线地裂缝发育特征与影响因素[J]. 资源环境与工程, 2023, 37(3): 301-307.
- [2] 黄伟亮,卢全中,蒋富强,等. 东非肯尼亚裂谷活动断层型地裂缝变形特征与机理研究[J]. 工程地质学报, 2022, 30(4): 1325-1336.
- [3] 陈元明. 山西断陷盆地地裂缝特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(3): 72-80.
- [4] 王英豪. 河北平原地裂缝研究与分析[J]. 资源环境与工程, 2014, 28(4): 598-602.
- [5] 黄继超. 豫北平原地区地裂缝成因及防治措施研究[J]. 路基工程, 2020(2): 185-190.
- [6] 马遵敬,李辉. 鄂尔多斯盆地东部边缘裂缝发育特征及主控因素[J]. 石化技术, 2022, 29(3): 130-131.
- [7] 贾润幸,方维萱,张建国,等. 山西清徐-太古地区地裂缝形成机理[J]. 地质通报, 2022, 41(7): 1282-1290.
- [8] 杨帆,臧浩. 昌邑一大店一带活动断裂对地质灾害影响研究[J]. 能源与环保, 2021, 43(5): 91-96.
- [9] 秦天,温静宇,安梦琪. 南阳盆地膨胀土成因研究[J]. 水利规划与设计, 2024(3): 91-97, 116.
- [10] 冯超臣,黄文峰,郑秀荣. 曹县梁堤头地区第四系地裂缝成因及防治[J]. 山东国土资源, 2015, 31(5): 36-39.
- [11] 蒋臻蔚,董文静,张焱森,等. 咸阳地下水位动态及其与地裂缝发展的对应关系研究[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(15): 5971-5975.
- [12] 孟令超,彭建兵,卢全中,等. 山西太原盆地地裂缝群发机制与深部构造关系[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2019, 30(1): 76-85.
- [13] 孟振江,彭建兵,李超,等. 耦合型地裂缝活动特征与成因机制模拟研究:以北京宋庄地裂缝为例[J]. 水文地质工程地质, 2023, 50(3): 138-148.
- [14] 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.
- [15] 张家明. 西安地裂缝研究[M]. 西安: 西北大学出版社, 1990.
- [16] 史双双. 大同地裂缝活动与大同-阳高地震的相关性研究[J]. 山西地震, 2020(1): 10-13, 20.
- [17] 乔建伟,彭建兵,郑建国,等. 中国地裂缝发育规律与运动特征研究[J]. 工程地质学报, 2020, 28(5): 1016-1027.
- [18] 刘振华,何付兵,崔玉斌,等. 平谷地裂缝基本特征与成因分析[J]. 科学技术与工程, 2023, 23(4): 1436-1446.
- [19] 齐信,陈州丰,邵长生,等. 九江地区第四系中典型地裂缝特征及构造意义[J]. 地质学报, 2015, 89(12): 2266-2276.
- [20] 卢耀东,李淑梅,支兵法. 雷州半岛胀缩土地裂缝及其成因机理[J]. 资源调查与环境, 2004, 25(4): 260-268.
- [21] 王超,李正,郭刘鹏,等. 济宁市兖州区滋阳山区域岩溶塌陷及地裂缝勘查[R]. 济宁: 济宁市兖州区自然资源局, 2023.
- [22] 杨旭东,马学军,宋伟,等. 华北平原地裂缝调查与防治研究[R]. 北京: 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 2016.
- [23] 舒志乐,陈昱东,宋钊宏. 干湿循环作用下膨胀土膨胀特性试验研究[J]. 人民长江, 2020, 51(6): 200-205.
- [24] 宋伟,王兵虎,马学军,等. 华北太行山前平原潜蚀性地裂缝发育特征:以保定新乡村地裂缝为例[J]. 城市地质, 2018(3): 64-71.
- [25] 王春霞,孙西欢,马娟娟,等. 植物根系吸水研究[J]. 山西水利, 2007(1): 85-86, 88.

Distribution Pattern and Causes of Ground Fissures in the Ziyang Mountain Area

WANG Chao, ZOU Ye, XIA Chunying, WANG Yingqiang, XUE Liangfang

(Shandong Provincial Lunan Geology and Exploration Institute(Shandong Provincial Bureau of Geology
and Mineral Resources No.2 Geological Brigade), Yanzhou 272100, Shandong, China)

Abstract: In order to understand the genesis mechanism of ground fissures in the Ziyang Mountain area of Jining City, the current situation and distribution patterns of ground fissures in the area were studied through methods including data collection, geological measurement, drilling, geophysical exploration, remote sensing interpretation, mountain engineering, indoor experiments, water level dynamic monitoring, engineering measurement, and comprehensive analysis. The results show that there are 6 exposed areas of ground fissures in the region. There are three types of cracks; linear, intersecting, and irregular collapse. All ground fissures are developed in forest planting areas, and before the area was changed from an agricultural area to a large-scale forest planting area, there were no reports of ground fissures reported by villagers. It can be inferred that the appearance of ground fissures is strongly related to the planting of trees. After investigation, there is a correlation between tree transplantation and the occurrence of ground fissures; The direction of ground fissures appearing on the surface is consistent with the direction of tree planting. It is speculated that the vertical cutting depth of the ground fissure may reach the bottom of the expansive soil layer. It is concluded that primary condition for controlling ground fissure activity in the research area is the distribution of expansive soil, followed by the degree of tree transplantation, tree planting, and hydrodynamic activity migration conditions.

Keywords: ground fissures; distribution pattern; expansive soil; genetic mechanism; Ziyang Mountain