

# 宁夏回族自治区西吉县地震诱发型 黄土滑坡发育特征与分布规律

尚 慧<sup>1</sup>, 倪万魁<sup>1,2</sup>, 刘海松<sup>1</sup>

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 冻土工程国家重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

**摘 要:** 地震诱发型黄土滑坡是宁夏回族自治区西吉县最严重的地震次生灾害。该区域西南部滑坡规模大, 密度高, 其主要类型是低角度、高速、远程黄土滑坡。西吉县地震活动处于活跃期, 老滑坡在地震、降雨等诱发因素下极易复活, 严重威胁当地群众的生命财产安全, 阻碍社会、经济的发展。基于西吉县地质灾害详细调查资料, 从规模、形成时代、滑体厚度等方面对地震诱发型黄土滑坡进行了分类统计。结合实地调查资料和遥感解译成果, 分析了滑坡的边界特征、表部及内部特征、变形特征、滑动特征, 并进一步总结了滑坡的空间分布规律和时间分布规律, 为地震滑坡的形成机理研究提供了理论基础。

**关键词:** 黄土滑坡; 地震; 发育特征; 分布规律

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0028-04

中图分类号: P642.2, X43

## Development Characteristics and Distribution of Earthquake-induced Loess Landslides in Xiji County of Ningxia Hui Autonomous Region

SHANG Hui<sup>1</sup>, NI Wan-kui<sup>1,2</sup>, LIU Hai-song<sup>1</sup>

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

2. State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Lanzhou, Gansu 730050, China)

**Abstract:** Loess landslide induced by earthquake is a serious secondary disaster in Xiji County of Ningxia Hui Autonomous Region. It has special characters not only in scale but also in density, the major type of which is characterized by low angle, high speed and far distance. Xiji County is in a more active period of seismic activity at present and old landslides may easily revive in the case of continuous rain and heavy rain or earthquake, with a serious threat to people's lives and property and severe influences to local economic construction. Based on detailed field data from geological disasters surveys in the county, a classified statistic of seismic loess landslides are made by size, formation age, thickness of sliding mass and other aspects. Then the boundary characteristic, surface and inner characteristic, deformation characteristic and sliding characteristic of the landslides are analyzed. Furthermore, the spatiotemporal distribution of the landslides are summarized. The research may provide a theoretical basis for the forming mechanisms of the landslides.

**Keywords:** loess landslide; earthquake; development characteristic; distribution

地震诱发型黄土滑坡广泛分布于我国黄土高原地区, 并且由于其多以一次性快速滑动方式出现, 有时滑坡所造成的危害远远超过地震本身直接造成的危害<sup>[1-2]</sup>, 因此, 在震区常成为一种不可忽视的次生灾害, 在我国乃至世界范围内引起了广泛的关注<sup>[3]</sup>。西吉县滑坡多为 1920 年海原 8.5 级地震和 1970 年苏堡 5.5 级地震诱发形成<sup>[4]</sup>, 主要发育于该县的西南部, 共形成 765 处滑坡和 41 处堰塞湖<sup>[5]</sup>。自 1920 年

至今, 该县仅震级 5 级, 烈度 VI 度以上的地震就发生过 5 次, 因此, 境内目前地震活动正处于一个较活跃期。地震致使该地区岩土体结构遭受破坏而变得松散, 抗风化能力弱, 老滑坡在遇暴雨或连阴雨及地震时极易复活, 同时易产生新的滑坡灾害, 对人民的生命财产造成严重威胁, 并给当地国民经济建设和社会发展造成严重影响。本文在对西吉县 529 处地震诱发型黄土滑坡进行深入调查的基础上, 以遥感和数据

收稿日期: 2011-09-23

修回日期: 2011-11-28

资助项目: 国家自然科学基金重点项目“气候变化及工程影响下青藏高原多年冻土区热融灾害评估”(41030741); 中国地质调查局项目“西北黄土高原区地质灾害详细调查”(12120108914028)

作者简介: 尚慧(1985—), 女(汉族), 陕西省宝鸡市人, 博士研究生, 主要从事地质工程、地质灾害防治方面研究。E-mail: shanghui\_happy@163.com.

统计分析为手段,研究了该区地震诱发型黄土滑坡的发育特征和分布规律,可为深入研究其形成机理提供理论基础,进一步为工程建设中防灾减灾和工程防护提供可靠的理论依据,对减少该地区黄土滑坡灾害造成的人民生命财产损失,增强社会稳定性,制订发展规划均具有重要的理论与实际意义。

## 1 自然地理与地质环境概况

西吉县位于宁夏回族自治区南部,六盘山西麓,地处陇西黄土高原腹地,属宁夏回族自治区固原市管辖。东连原州区,北靠海原县,西接甘肃省会宁县、静宁县,南邻隆德县和甘肃省静宁县,总面积为 3 144 km<sup>2</sup>,辖 3 镇 16 乡,截至 2005 年总人口 45.7 万人<sup>[6]</sup>。该区属典型的大陆性半干旱气候,大部分地区具有年降水量少,且受地形影响强烈,雨季集中,降水分布不均匀,蒸发强烈,灾害性天气较多的特点,境内主要发育葫芦河、滥泥河和清水河 3 大水系。主要地貌类型有黄土丘陵、土石质山和河谷平原,分别占西吉县总面积的 81.93%,11.47%和 6.6%<sup>[7]</sup>。区内出露地层主要有寒武系、白垩系、古近系、新近系和第四系,第四系地层分布广泛。研究区位于昆仑山秦岭北祁连褶皱区,跨越北祁连加里东褶皱带和西吉拗陷带 2 个 3 级构造单元。据国家地震局地震烈度区划,西吉县大部分地区处于地震烈度Ⅷ度区,北部靠近海原活动断裂带为地震烈度Ⅸ度区<sup>[8]</sup>。

## 2 地震诱发型黄土滑坡发育特征

由于新构造运动的影响,西吉县一直处于强烈上升区,沟谷下切严重,致使很多黄土与红泥岩的接触面临空出露,由于黄土是由风积而成的土状堆积物,其结构疏松,黄土层呈“帽状”覆于不同形态、不同岩性的古地层上,地形差异较大<sup>[7]</sup>。另外,西吉县处于地震活动较活跃期,因此,地震诱发的黄土滑坡灾害十分严重,并且表现出的特征也不同于其他地区。境内由地震滑坡引起的堰塞湖呈串珠状分布,滥泥河流域黄土堆积较厚,在地震作用下,容易诱发滑坡形成堰塞湖<sup>[9]</sup>,在西吉县境内形成了 41 处堰塞湖,至今尚存 20 多个(图 1)。

### 2.1 滑坡边界特征

(1) 滑坡后壁一般清晰可辨,在外形上呈圈椅状。后壁坡度一般较大,在 50°~80°,壁面总体上较平直,后壁多发育细小冲沟,剥落和小规模的垮塌现象多见,其上植被不发育,与周边斜坡可明显区别开来。

(2) 滑坡侧界随着滑坡发生时间早晚不同,保留的清晰程度也不同。大多滑坡的侧界不甚清晰,林木

草丛覆盖,与原坡面呈渐变过渡;由于滑体大多后倾,中部凸起稍高,两侧边界地势最低,下部滑体顺坡向突出,向两侧扩展(图 2)。

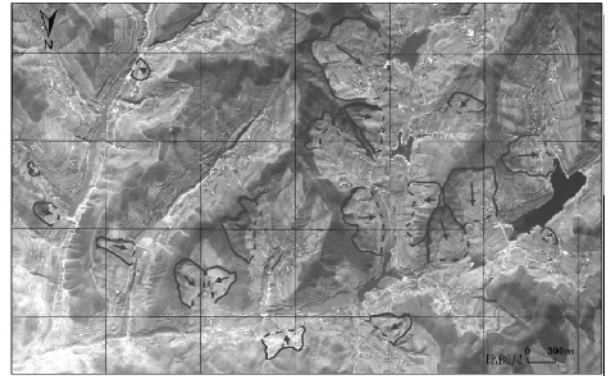


图 1 西吉县地震滑坡及堰塞湖遥感影像

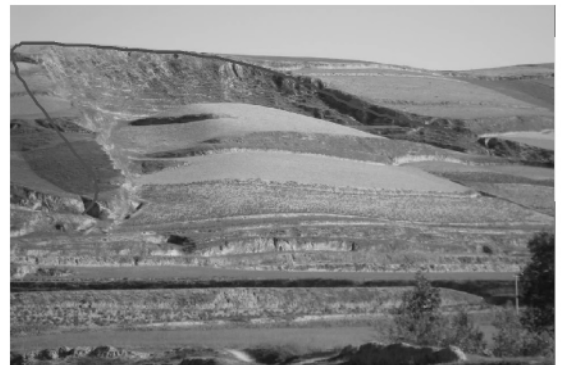


图 2 滑坡后壁及侧界特征

(3) 滑坡前缘出露于河流或沟谷斜坡坡脚,部分老滑坡的前缘基本没有保存;滑坡在下滑时多冲向彼岸,堵塞河道,迫使河流弯曲,在地貌上多表现为河谷凸岸,前缘地势平坦,整体形态呈长舌状(图 3)。



图 3 滑坡整体形态及前缘特征

### 2.2 滑坡表部及内部特征

滑坡表部微地貌形态多样,可见反倾后缘与后壁之间形成的封闭洼地,降雨在洼地汇集,积水较多时,向滑体两侧排泄,洼地内潜蚀发育,主要表现为发育

程度不同的隐伏裂缝,最大宽度可达十几至几十厘米,深度不一,并向两侧延伸;还有规模不等的落水洞发育。据实地调查资料统计,西吉县地震滑坡主要发生于 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 的黄土斜坡,其中 $11^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 斜坡上发育的有 122 处, $21^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 斜坡上有 317 处,共占滑坡总数的 83%,整体呈现低角度的特征。西吉县内滑坡体土体组成较单一,主要为黄土状土。在钻孔内和冲沟中可以看到固结混杂的土体,土石混杂体仅在滑坡前缘可见。多数滑坡体一般不含地下水,在滑坡前缘亦无地下水溢出。从调查的 529 个滑坡中可发现,控滑结构面主要为黄土与新近系泥岩或白垩纪砂岩(泥、页岩)接触层面,由滑坡前缘侵蚀断面上可见滑床土体部分呈强烈挤压状,土体结构致密,具明显的挤压纹理,甚至可见厚数十厘米至数米的挤压带,同时,在所取滑带土土样中还可以见到液化痕迹。

### 2.3 滑坡变形特征

西吉县的大多老滑坡已被修整成耕地,变形迹象不明显,个别老滑坡在遇暴雨或连阴雨后又出现了新的裂缝,裂缝以其性质的不同、滑坡规模的差异而特征各异。有的滑坡前行时前缘受阻而形成前缘鼓胀,两侧发育有数厘米宽的剪切裂缝,有的滑坡则在滑体上形成大量拉张裂隙。

### 2.4 滑坡滑动特征

西吉县滑坡基本都属于地震诱发,滑坡的形成机制比较简单,主要为推移式。在强大的地震动作用下,斜坡上部黄土产生震陷,形成震陷推移区,同时斜坡中下部饱和黄土层发生液化,处于流动状态,在地震力和上部震陷土体推移力共同作用下,斜坡中下部黄土沿泥岩接触面产生远程高速滑动,形成液化流滑区(图 4),因此,该区较大规模的滑坡尽管坡度很缓,但是滑距一般都较长,概括起来为低角度、高速、远程滑坡。

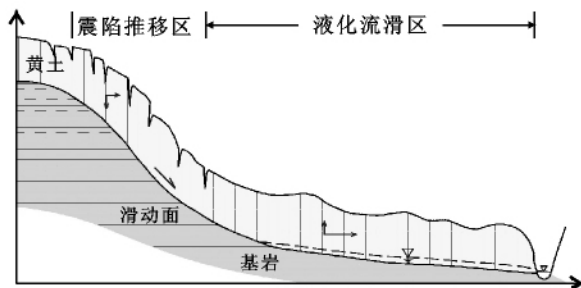


图 4 地震诱发滑坡滑动过程示意图

## 3 地震诱发型黄土滑坡分布规律

### 3.1 黄土地震滑坡分类统计

根据 1:50 000 西吉县地质灾害详细调查,境内共发育黄土滑坡 529 处,目前仍存在隐患的滑坡 364

处。依据滑坡崩塌泥石流地质灾害详细调查规范中滑坡分类标准<sup>[10]</sup>,采用不同的分类方法对西吉县境内滑坡进行统计,以便正确反映滑坡作用的一些规律。统计得出,滑坡按物质组成和滑动面位置,主要有黄土层内滑坡和黄土—基岩接触面滑坡<sup>[11]</sup>2 种类型,分别有 185 处和 344 处;按滑体厚度,以中、浅层滑坡为主,分别占 69%和 28%,厚层和巨厚层滑坡相对较少,共占 2%;根据滑坡形成时代,区内滑坡全属于老滑坡,未见新滑坡和古滑坡;按规模分,以中型和大型滑坡为主,分别为 163 处和 341 处,小型和特大型数量相当,分别为 10 处和 15 处,未见巨型滑坡;按发生原因,没有人类工程活动引起的滑坡,都属于地震诱发的滑坡。

### 3.2 空间分布规律

(1) 老滑坡呈滑坡群或滑坡链分布,这种群发性在境内西南部尤为突出,而在北部和东北部则相对较少。

(2) 滑坡大多集中发育于黄土丘陵区,土石质山区较少,河谷平原区无滑坡发育;西吉县大地构造位于昆仑山秦岭北祁连褶皱区,以月亮山—什字大断裂为界,可划分为 2 个 3 级构造单元,北祁连加里东褶皱带和西吉凹陷带<sup>[12-13]</sup>,滑坡集中发育于西吉凹陷带,北祁连加里东褶皱带滑坡发育极少(图 3),西吉凹陷带东南侧为挤压变形区,受断裂左旋影响较小,地震滑坡发育较少,而西北侧属于张裂区,海原地震时,该区向北西—北西西方向水平位移,并伴有垂直位移,由此造成了密集分布的地震滑坡<sup>[14]</sup>。绝大部分滑坡主滑方向与断裂走向基本一致,部分与断裂走向接近的沟谷斜坡上产生的滑坡主滑方向与断裂走向近于垂直。

(3) 地震滑坡的分布在很大程度上受地震断层的控制,其分布主方向与地震断层的走向基本一致。受古地形和黄土沉积时风向的影响(黄土的风尘主要来自西部和北部的荒漠地区,主要受西北冬季风由西北向东南方向搬运<sup>[15]</sup>,因此北西向的斜坡黄土沉积较厚,而南东向的斜坡黄土沉积较薄;另一方面受古地形影响,阳坡一般都比阴坡陡,因此剥蚀作用强于阴坡,黄土层较薄,黄土沉积表现为阴坡厚、阳坡薄的特点(图 5),并且覆于新近纪泥岩之上,滑坡发育程度往往与黄土厚度关系紧密,阴坡黄土厚度大则滑坡多,而阳坡黄土厚度小,则基本无滑坡发育。

(4) 西吉县西南部滑坡密集的地段斜坡多在 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ <sup>[7]</sup>,是滑坡体复活的高易发区,而葫芦河以东地区黄土层较薄,地震活动影响较弱,斜坡的稳定性较好,老滑坡不发育。

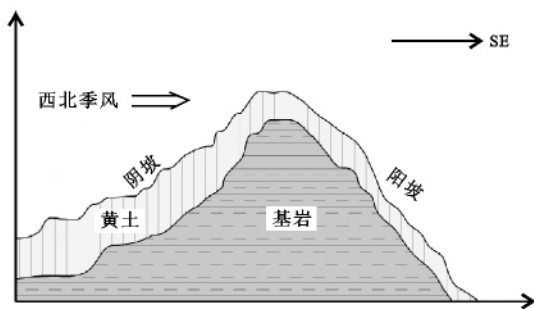


图5 阳坡及和阳坡黄土沉积示意图

### 3.3 时间分布规律

在地质历史时期,滑坡在晚更新统末和全新世初期相对集中,主要是由于该时期六盘山隆升速率成倍增长,新构造运动强烈,西吉县滑坡发育主要受地震活动的影响,1920年的海原大地震和1970年的苏堡地震致使调查区内产生大量滑坡灾害,区域内90%以上的滑坡灾害均发生于这2个年份,另外,降雨也是诱发滑坡发生的因素之一。据调查,1996—1998年降暴雨、强降雨的频次高,滑坡在此期间发生频率增大,1998年该县出现了一次强降雨期。滑坡出现一次高峰。滑坡每年多发生在5—8月,多以老滑坡复活的形式出现,这与此时段降雨集中和暴雨频次高完全一致。

## 4 结论

(1) 黄土丘陵区的深切沟谷、黄土与泥岩易滑地层的存在,晚更新世以来强烈的新构造运动和地下水是滑坡产生的内在条件,地震、降水是该区滑坡的主要诱发因素。

(2) 区内发育滑坡多为高速、低角度、远程滑坡,形态上多呈长舌状。

(3) 地震滑坡主要产生于 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 的黄土斜坡,其中 $11^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 斜坡上发育的有122处, $21^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 斜坡上的有317处。

(4) 地震滑坡滑体厚度多小于25 m,其中,滑体厚度小于10 m的有150处,滑体厚度10~25 m的有365处,这与西吉县丘陵区分布的10~30 m厚风成黄土有密切关系。

(5) 区内大多滑坡是沿黄土与新近系泥岩的软弱接触面滑动,规模多在10~1 000万方,其中,体积10~100万方的有163处,100~1 000万方的有341

处,超过1 000万方的超大型滑坡较少,有15处。

(6) 滑坡主滑方向以北西—北西西和北东—北东东为主,大多滑坡主滑方向与断裂走向基本一致,部分与断裂走向接近的沟谷斜坡上产生的滑坡主滑方向与断裂走向近于垂直。

(7) 由于阴坡黄土厚度大于阳坡,因此阴坡发育的滑坡多于阳坡。

### [参考文献]

- [1] 崔中兴,杨作栋.黄土地区滑坡的机理分析及防治对策[J].水土保持通报,1994,14(6):48-52.
- [2] 毛正君,倪万魁,杨晓华,等.宁夏回族自治区彭阳县地质灾害发育特征与形成条件分析[J].水土保持通报,2010,30(5):68-72.
- [3] Zhou Bengang, Zhang Yuming. Some characteristics of earthquake-induced landslide in Southwestern China [J]. Northwestern Seismological Journal, 1994, 16(1): 95-103.
- [4] 袁丽侠.宁夏地震诱发黄土滑坡[M].银川:宁夏人民出版社,2005:3-10.
- [5] 西吉县志编纂委员会.续修西吉县志[M].银川:方志出版社,2006:69-93.
- [6] 高宇,杨国安,王红英,等.宁夏回族自治区西吉县地质灾害调查与区划报告[R].银川:宁夏国土资源调查监测院,2003:2-3.
- [7] 吴学华,倪万魁,刘海松,等.宁夏回族自治区西吉县地质灾害详细调查报告[R].银川:宁夏国土资源调查监测院,2010:19-70.
- [8] 国家地震局兰州地震研究所.1920年海原大地震[M].北京:地震出版社,1980.
- [9] 卢育霞.宁夏西吉县地震滑坡的地貌特征及其减灾开发对策探讨[J].西北地震学报,2007,29(1):79-83.
- [10] 殷跃平,张作辰,张茂省,等.滑坡崩塌泥石流灾害详细调查规范(审定稿)[S].北京:中国地质调查局,2005.
- [11] 尚慧,倪万魁,杜光波,等.黄土滑坡形成机理分析:以宁夏彭阳县为例[J].中国地质灾害与防治学报,2011,22(2):26-33.
- [12] 国家地震局《鄂尔多斯周缘活动断裂系》课题组.鄂尔多斯周缘活动断裂系[M].北京:地震出版社,1988.
- [13] 尚慧.宁南山区地质灾害形成机理研究[D].西安:长安大学,2010.
- [14] 国家地震局地质研究所,宁夏回族自治区地震局.海原活动断裂带[M].北京:地震出版社,1990.
- [15] 郭正堂,魏兰英,吕厚远,等.晚第四纪风尘物质成分的变化及其环境意义[J].第四纪研究,1999(1):41-48.