

陕北黄土高原区滑坡发育类型与时空分布特征^{*}

——以吴起县为例

段 钊, 赵法锁, 陈新建

(长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 自1970年代以来, 因吴起油田的发现, 吴起县石油开采及相关工程建设频繁, 各项工程建设在为吴起县带来经济发展的同时也引发了大量滑坡灾害。以“陕西省延安市吴起县地质灾害详细调查”项目为依托, 对县内滑坡的类型及分布情况进行了较为详细的野外调查。根据调查结果将滑坡分为黄土层内滑坡、黄土-红粘土接触面滑坡、红粘土-基岩接触面滑坡和黄土泥流滑坡四类, 并对滑坡灾害的时间、空间及时空分布特征进行了分析, 最后提出相关防治对策。

关键词: 黄土滑坡; 滑坡类型; 分布特征; 防治对策; 陕西吴起县

中图分类号: P642.22 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2011)04-0052-05

吴起县位于陕西省延安市西北部, 自然条件差, 基础设施薄弱, 其滑坡灾害无论是数量、规模还是造成的危害, 在陕北黄土高原地区均具有代表性。尤其是1970年代以来, 由于吴起油田的发现, 石油开采及相关工程建设活动频繁, 使原本脆弱的黄土地上滑坡灾害频发^[1]。

区内地质灾害的基础研究工作相对薄弱, 本文以“陕西省延安市吴起县地质灾害详细调查”项目为依托, 对研究区滑坡灾害进行实地调查, 并参考前人成果, 就滑坡类型及分布特征进行较深入研究, 最后提出防治对策, 以期为该地区经济与社会可持续发展提供相关决策依据。

1 地质环境概况

吴起县地处黄土高原腹地, 毛乌素沙漠南缘, 地势西北高, 东南低。受上更新世以上升为主的震荡性新构造运动影响, 区内反复受长期剥蚀、侵蚀、堆积作用, 形成以白于山为分水岭的梁、峁与河、沟、壑地貌单元组合。区内属半干旱温带大陆性季风气候, 雨量偏小, 降水主要集中在7-9月。县域内河流均属黄河水系, 干流深切, 支流密布。以白于山为界, 南为洛河流域, 北为无定河流域。境内地表广为第四系中、上更新统黄

土披覆, 堆积厚度大, 前第四系地层仅在深切沟谷和陡峻梁峁斜坡下部有所出露, 产状近水平。含水层主要有第四系松散层孔隙水、孔隙裂隙水和白垩系基岩裂隙水三种类型。区内地震活动不强烈, 近几世纪来地震少有发生, 且震级较小, 邻近省区虽发生过大震, 但由于地块边界的阻隔, 对本区影响不大^[2]。本区人类工程活动频繁, 自1971年以来, 吴起县因石油开采, 使经济面貌得以改善, 随后基础设施建设也得到迅猛发展。仅“十一五”期间的大型改、新建设项目就有11项, 其中包括油井3400口、勘探井125口, 累计进尺35万m, 各级公路68条共1165km, 水库两座, 总库容1000万m³^[3]。

2 黄土滑坡类型

吴起县共发现有黄土滑坡134处, 可分为黄土层内滑坡、黄土-红粘土接触面滑坡、红粘土-基岩接触面滑坡和黄土泥流滑坡四类^[4](图1)。

2.1 黄土层内滑坡

该类滑坡多切离石、马兰两层黄土, 于马兰黄土内部某古土壤层形成滑面(图1a)。滑体主要由中、晚更新世黄土崩滑堆积物组成, 结构零乱, 颜色混杂或较均一, 滑体厚度一般为3~30m。本

^{*} 收稿日期: 2011-04-11

基金项目: 中国地质调查局项目(1212010814023); 国家自然科学基金面上项目(40872185)

作者简介: 段钊(1985-), 男, 汉族, 陕西西安人, 博士研究生, 主要从事黄土滑坡机理及防治技术等方面研究工作。

E-mail: xian.landsliders@gmail.com

类系研究区主要发育类型, 与人类工程活动密切相关, 占研究区滑坡总数的 70% (图 2)。长官庙乡黄岔村湫沟滑坡是其典例 (图 3)。

2.2 黄土-红粘土接触面滑坡

该类滑坡滑面为黄土-红粘土接触面 (图 1b)。

滑体由中、晚更新世黄土崩滑堆积物组成, 可辨层次, 厚度一般为 10~40 m, 滑速相对较慢, 规模较大。在调查发现的 29 处滑坡中 (图 2), 有 20 处因人工开挖坡脚导致滑坡体复活或加剧, 其中最为典型的是薛岔乡大路沟滑坡 (图 4)。

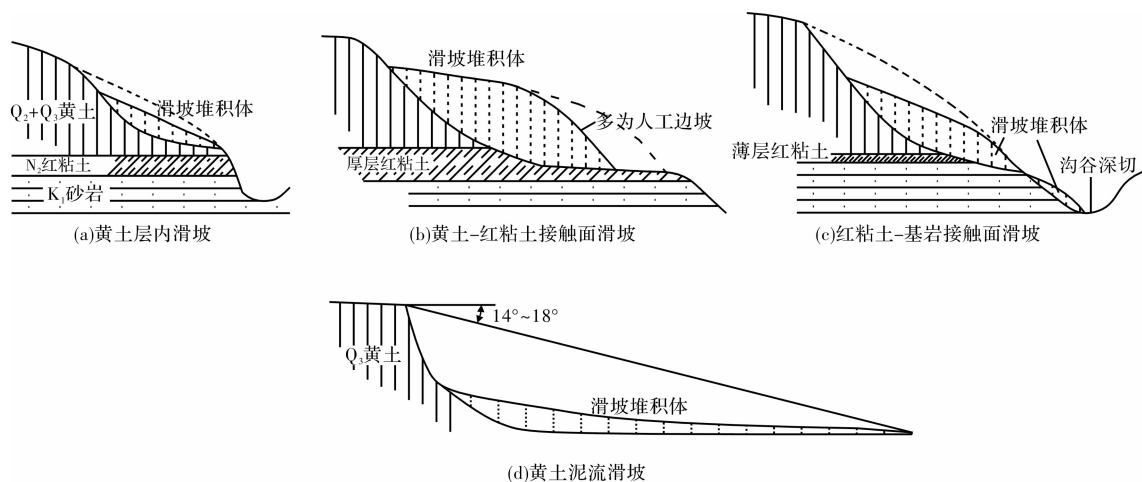


图 1 吴起县黄土滑坡类型示意图

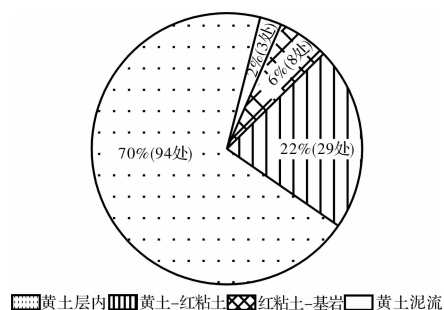


图 2 滑坡类型分布图



图 3 湫沟滑坡

2.3 红粘土-基岩接触面滑坡

如图 1c 所示, 该类滑坡在研究区发育较少 (图 2), 调查发现的 6 处滑坡, 均分布在深切河谷的两岸。滑动面为红粘土-砂岩接触面, 滑体除中、晚更新世黄土及新近系红粘土崩滑堆积物外, 还含有部分风化砂泥岩, 滑体厚度较薄, 一般为 5~25 m。



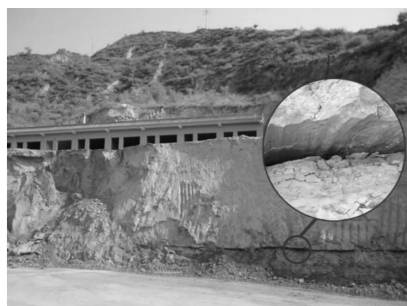
(a) 整体特征



(b) 剪出口

图 4 大路沟滑坡

图 5 所示为薛岔滑坡, 该滑坡是在原有老滑坡的基础上因修路开挖坡脚而诱发二次滑动, 原路基位于滑面以上, 开挖后路基低于滑面。在滑坡坡脚处有一户居民, 受滑坡威胁搬迁, 该滑坡在 2007 年 12 月出现滑动以来, 变形逐渐加剧。2008 年 8 月 27 日对该滑坡进行了调查, 在坡顶发现贯通的拉张裂隙, 坡脚剪出口位置滑面可见清晰擦痕 (图 5a), 28 日凌晨 2 时滑坡滑动, 摧毁了坡脚处居民房并掩埋了部分道路 (图 5b)。



(a)整体特征及剪出口



(b)破坏后

图5 薛岔滑坡

2.4 黄土泥石流滑坡

黄土泥石流滑坡的滑动面发育于马兰黄土层内部(图1d), 仅在白于山以北黄土梁间涧地边缘受河流切割部位发育, 在研究区仅发现有3处(图2)。该类滑坡多形成较规则的弧形后缘和近于直立的后壁, 平面呈“U”字形。由于该地区马兰黄土粘粒含量较低, 土体松散, 在连阴雨或强降雨条件下, 滑坡启动即转化为泥流, 呈流态化运动特征, 具有周期性、多频次、单次规模小等特点, 造成严重的土地资源损失(图6)。



图6 后黄涧滑坡

3 滑坡时空分布特征

3.1 时间分布特征

对研究区内1980-2010年119处有时间记录的滑坡灾害点的年际和年内分布特征进行总结(其中有15处活动时间无法考证或未在研究时限内), 发现滑坡活动在时间上呈现出与降雨和人类工程活动密切相关的周期性变化。

(1)滑坡活动存在着一定的年际变化(图7), 与降水强度有着直接的关系。丰水年多发, 贫水年少发, 在一个滑坡高发期后常伴随有低谷期, 这与黄土地区滑坡与降水量关系基本吻合^[5]。人类工程活动的强弱也对滑坡的活动周期影响显著, 地区经济发展战略的实施, 促使区内工程活动日趋频繁, 滑坡活动强度也呈逐年上升态势(1982、1985年因降雨异常除外), 根据人类工程活动种类的不同, 滑坡活动常伴随或滞后于人类工程活动。

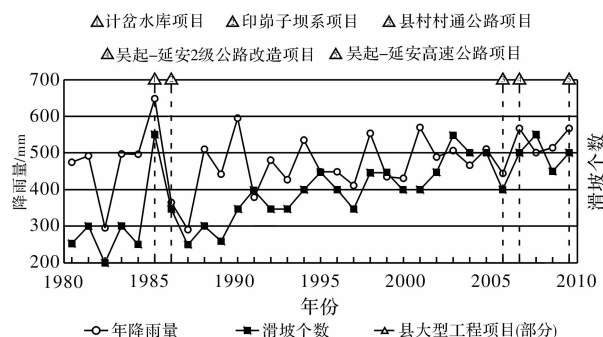


图7 滑坡灾害年际变化折线图

(2)滑坡活动存在着一定的年内变化(图8)。区内降雨主要集中在7-9月, 并形成滑坡活动的高发时段。多年7-9月共发生滑坡灾害82起, 占滑坡总数的71%, 可以看出, 集中性的降雨对滑坡稳定性的影响是很不利的。3-6月、10-11月, 滑坡发育特征除与降雨强度有一定关系外, 还受重大工程项目施工的黄金期影响。此外, 初春冻融作用也对滑坡稳定性造成一定影响。

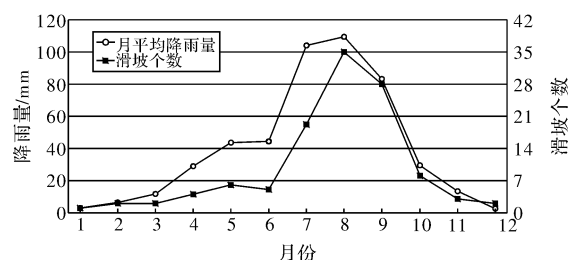


图8 滑坡灾害年内变化折线图

3.2 空间分布特征

由图 9 可以看出, 滑坡灾害在吴起县境内普遍发育, 13 个乡镇具有程度不等的滑坡发育, 但受区域地质背景、经济建设活动等因素的影响^[6-7], 区内滑坡灾害的空间分布还表现出以下几方面特征。

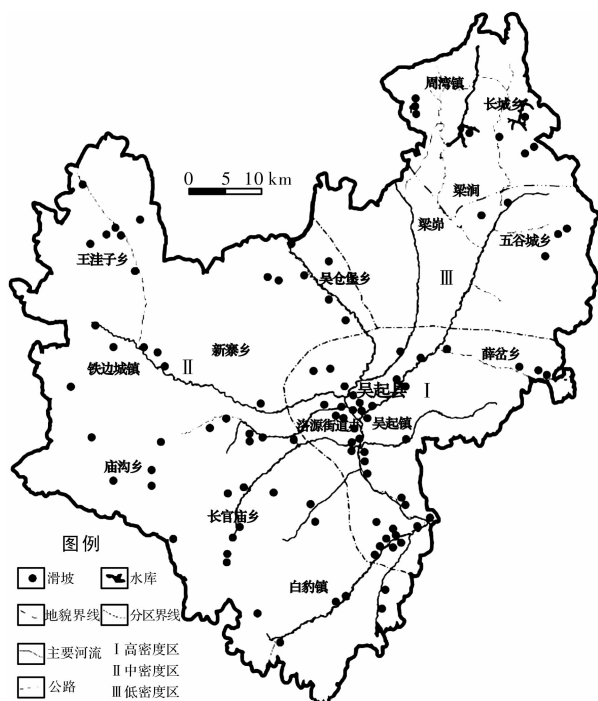


图 9 滑坡灾害空间分布图

(1) 不均衡性

区内滑坡灾害无论是发育密度或是发生频度都体现出不均衡性, 这与我国黄土高原地区滑坡灾害发育特征基本相符^[8-9]。总体表现为: 中东部地区最发育, 西部地区较发育, 东北部地区发育较弱。进一步分析还表现为, 经济发展较快地区较发展慢地区发育, 黄土梁峁地貌较黄土梁涧地貌发育, “V”字型河谷较“U”字型河谷发育。此外, 阳坡多发, 阴坡少发; 凸坡多发, 凹坡少发, 1 300~1 500 m 高程段为滑坡多发地段, 也从一定程度上体现出这一分布特征。

(2) 群集性

区内形成多个滑坡密集区, 小范围内滑坡成群分布, 其密集程度与人类工程活动有最密切关系。此外降雨、河流侵蚀等也从一定程度上对群集造成影响。从图 9 不难看出, 滑坡灾害主要分布在县城、乡镇、公路沿线及水库周边, 而这些地区往往是工程活动强度较高的地区。不同的工程活动类型所形成的群集形态略有不同, 如河流侵蚀或公路建设造成线状群集, 水库建设造成以水

库为中心的圈状群集等。

(3) 继承性

区内滑坡的空间分布在一定程度上表现为对古、老滑坡的继承。调查发现 119 处滑坡中有 89 处系人类工程活动等因素诱发古滑坡或老滑坡的二次滑动, 其中古滑坡 19 处, 老滑坡 70 处, 而研究时限内发生的新滑坡仅有 30 处。因此与古、老滑坡密集区重叠的人类工程活动区也是滑坡灾害的高发地带。

3.3 时空分布特征

为进一步了解滑坡的分布特征, 笔者以 5 km × 5 km 的网格将吴起县划分为 197 个单元, 将各年单元格内发育的滑坡数进行记录, 以 10 年为一时段通过单格内滑坡数量的累积变化来分析滑坡的时空分布特征(图 10)。

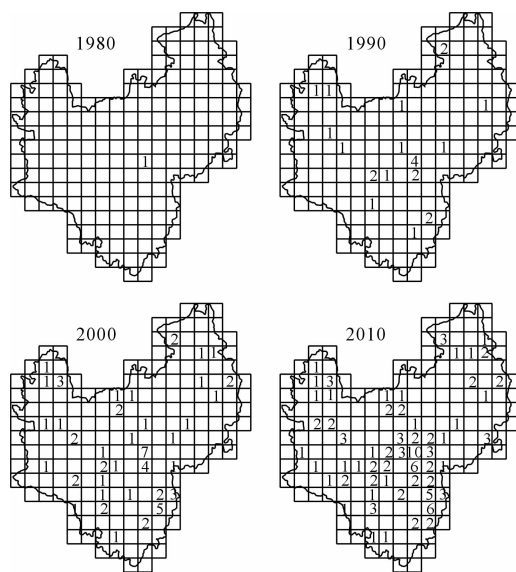


图 10 各单元逐年累计滑坡个数

图 10 滑坡灾害时空分布图

在 1980-2010 年吴起县各区块滑坡个数及密度整体呈现逐年递增的趋势。1980 年代滑坡主要发育在中部及南部部分地区, 西部地区少量发育。1990 年代基本形成了以县城为核心的第一聚集中心, 周边多个次级聚集中心同时加速发育, 各区块密度显著增加, 整体上形成类网状结构。近 10 年来, 各聚集中心密度不断增加, 范围不断扩大, 同时各聚集中心呈现出一体化趋势。

4 防治对策

根据对吴起县滑坡灾害分布特征分析可知, 降雨及人类工程活动对区内滑坡多发、频发起着

决定性作用,因此有效地控制诱发因素(外因)是减少滑坡灾害发生的最佳途径^[10-12]。①应针对工程项目进行合理规划,统筹布局,尽量避开古、老滑坡密集区,施工时应严格按照相关工程规范进行施工,减少不合理的人类工程活动。②结合工程项目类型开展相关地质灾害评估工作,查明滑坡类型、特征,对滑坡可能造成的危害进行预测,以指导工程项目的顺利进行。③对于已存在的滑坡灾害,应结合滑坡危害程度采取相应对策,危险性大的地区应以搬迁为主,危险性中等地区可进行勘察、设计,设置抗滑桩、挡墙、排水等防护措施,危险性小的地区可采取削坡及排水措施。④应加强监测力度,尤其是在滑坡多发地区及高发时段,提高群众认识,发动群众,群测群防。⑤建立滑坡灾害相关应急方案,自五谷城乡实施《自然灾害群众救灾安置工作实施方案》以来^[13],该乡滑坡灾害增量显著降低。⑥积极开展植树造林,薛差乡多年坚持春季植树造林工作,有效地减少了乡内滑坡灾害的发生^[14]。

5 结语

(1)研究区共发现 134 处黄土滑坡,分为四类,即黄土层内滑坡、黄土-红粘土接触面滑坡、红粘土-基岩接触面滑坡和黄土泥流滑坡,其中黄土层内滑坡为滑坡的主要发育类型。

(2)对区内有时间记录的 119 滑坡分布特征总结发现,吴起县滑坡分布具有一定时间和空间的特征,其特征与地质环境条件及诱发因素有着密切的关系,空间分布特征是通过一定时间体现的。

(3)结合区内滑坡灾害时空分布特征提出因地制宜的防治对策,可辅助滑坡灾害防治决策的制定与实施,为区域防灾减灾服务。

参考文献:

- [1] 雷祥义. 黄土高原地质灾害与人类活动[M]. 北京:地质出版社, 2001: 30-37.
- [2] 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1989: 515-577.
- [3] 吴起县政府网. 吴起县国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要[EB/OL]. [2011-03-01]. <http://www.wqx.gov.cn/wuqi/detail.jsp?id=831>.
- [4] 吴玮江, 王念秦. 黄土滑坡的基本类型与活动特征[J]. 中国地质灾害与防治学, 2002, 13(2): 36-40.
- [5] 王念秦, 张俤元. 黄土滑坡灾害研究[M]. 兰州:兰州大学出版社, 2005.
- [6] 冯玉涛, 肖盛燮. 崩滑流地质灾害链式机理及其优化防治[J]. 灾害学, 2009, 24(3): 22-23.
- [7] 靳泽先, 韩庆宪. 黄土高原滑坡分布特征及宏观机理[J]. 中国水土保持, 1988(6): 21-25.
- [8] 左发源. 我国黄土高原西部区域性滑坡的特征[M]. 北京:铁道出版社, 1988: 1-20.
- [9] GUAN Hui-ping, SUN Yi. Analyzing typical characteristics of loess landslides in regional space-time activities in Gansu[J]. Journal of Lanzhou railway university (Natural Sciences), 2001, 20(1): 36-41.
- [10] 郑颖人, 陈祖煜, 王恭先, 等. 边坡与滑坡工程治理[M]. 北京:人民交通出版社, 2007.
- [11] 徐张建, 林在贯, 张茂省. 中国黄土与黄土滑坡[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(7): 1297-1312.
- [12] 李昭舒, 段炼菡, 杨喜凤, 等. 吴起县城地质灾害的防治研究[J]. 西安工程大学学报, 2009, 23(6): 83-89.
- [13] 吴起县政府网. 五谷城乡自然灾害群众救灾安置工作实施方案[EB/OL]. [2011-03-01]. <http://www.wqx.gov.cn/wuqi/detail.jsp?id=791>.
- [14] 吴起县政府网. 薛差乡植树造林工作细则[EB/OL]. [2011-03-01]. <http://www.snxeucha.gov.cn>.

Types and Spatio-Temporal Distribution of Loess Landslides in Loess Plateau Region ——A Case Study in Wuqi County

Duan Zhao, Zhao Fasuo and Chen Xinjian

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

Abstract: In the 1970s, great oil resources were detected in Wuqi. Since then, petroleum exploitation and related construction projects have been started one after another in Wuqi. The construction projects have brought Wuqi county the economic development, but also triggered a large number of landslide disasters. Relying on the project "Detailed Investigations of Geological Disasters in Wuqi County, Yan'an, Shaanxi Province", intensive field investigations were carried out on the classification and distribution of landslides in Wuqi. According to the results of geological disaster investigation, the following types of loess landslides were classified, loess landslide, loess-clay interface landslide, clay-sandstone interface landslide and loess debris-flow landslide. Meanwhile, the spatio-temporal distribution of landslide disasters in loess plateau was analyzed and the related control measures were proposed.

Key words: loess landslide; landslide types; distribution characteristics; control measures