

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.01.09

新疆伊犁皮里青河黄土滑坡类型及其发育特征

庄茂国¹, 魏云杰¹, 邵海¹, 朱赛楠¹, 石爱军¹, 黄喆¹, 祝贺²

(1. 中国地质环境监测院(国土资源部地质灾害应急技术指导中心), 北京 100081;

2. 伊犁州国土资源局, 新疆伊犁 835000)

摘要: 皮里青河流域地处新疆西北部黄土覆盖区, 属于大陆性半干旱气候, 春季降水与融冻作用引发大量黄土滑坡灾害, 造成人员伤亡和财产损失。本文通过对该流域内黄土滑坡现场开展调查, 在查明皮里青河基本环境地质条件的基础上, 采用统计分析和定性分析方法对滑坡进行分类和时空分区, 将其滑坡分为黄土泥流、黄土层内滑坡、黄土基岩滑坡 3 类; 分析滑坡分布与河流和地层的位置关系; 分析滑坡发生时间规律。对滑坡的基本特征数据进行统计分析, 得出区域滑坡形态、体积、主滑方向和滑坡坡度基本特征呈现出的规律。文章定性分析了滑坡的诱发因素, 主要为降水作用、河流侵蚀和冻融作用。

关键词: 皮里青河; 黄土滑坡; 发育特征

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)01-0054-06

Type and characteristics of loess landslides in Piliqing River, in Yili of Xinjiang Uygur Autonomous Region

ZHUANG Maoguo¹, WEI Yunjie¹, SHAO Hai¹, ZHU Sainan¹, SHI Aijun¹, HUANG Zhe¹, ZHU He²

(1. China Institute of Geo-Environmental Monitoring (The Ministry of Land and Resources
Geological Disaster Emergency Technical Guidance Center), Beijing 100081, China;

2. Yili Bureau of Land and Resources, Yili, Xinjiang 835000, China)

Abstract: Piliqing River Basin locates in loess covered area in the north-west of Xinjiang, which belonging to the continental semi-arid climate, spring precipitation and freeze-thaw action cause a lot of loess landslide-disasters, leading casualties and property losses. In this paper, through the investigation in the loess landslides, use statistical analysis method and qualitative analysis method to classify and spatio-temporal partition of landslides, the landslides are divided into loess mudflow, loess landslide and loess-bedrock landslide; analysis relationships of landslide distribution to the river, stratum and time. The basic characteristics of landslides are statistically analyzed, and the basic characteristics of regional landslide shape, volume, main slip direction and landslide slope are obtained. Qualitative analysis the induced factors of landslides, mainly precipitation, river erosion and freeze-thaw action.

Keywords: Piliqing River; loess landslides; develop-characters

0 引言

伊犁地区黄土发育, 主要分布于山前及山麓地带, 一般厚度 20 ~ 50 m。黄土垂直节理发育, 大气降水、

地表水通过裂隙下渗, 黄土浸水产生软化崩解, 抗剪强度急剧下降, 极易形成滑坡灾害。黄土地层成为伊犁地区滑坡易发地层, 并且具有分布范围广、发生频率高、规律性差和防治难度较大的特点。伊犁地区黄土

收稿日期: 2017-11-14; 修订日期: 2018-01-31

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目: 新疆叶城 - 乌恰城区综合地质调查 (DD20179609)

第一作者: 庄茂国 (1983-), 男, 地质工程专业, 博士, 工程师, 研究方向为地貌学、地质灾害。E-mail: zhuangmg@mail.cigem.gov.cn

滑坡研究较少, 仅仅开展一些区域灾害规律与综合防治研究^[1-2]。皮里青河流域(图1)作为伊犁地区黄土地质灾害典型区域, 开展黄土滑坡特征研究, 具有较强科学意义和社会意义。

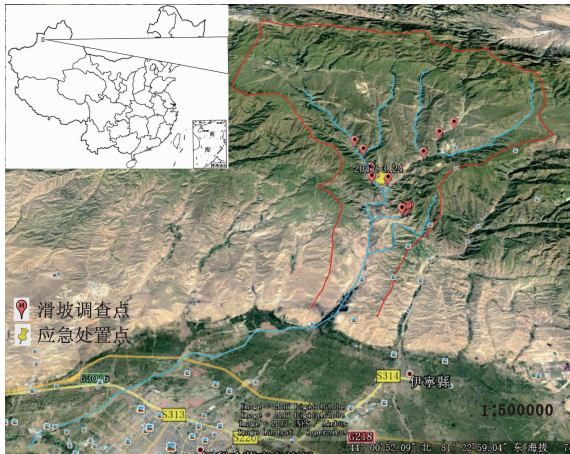


图1 皮里青河流域地理位置示意图

Fig.1 The geographical location of Piliqing River basin

1 地质环境条件

皮里青河位于新疆伊犁州伊宁县北, 发源于伊宁县北部科古尔琴山分水岭南侧, 河流向南切穿山地, 流经克拉亚尕奇乡、潘津乡、达达木图乡和巴彦岱镇流入伊犁河, 为伊犁河一级支流。河流全长 77 km, 源头高程 2 550 m, 汇入伊犁河谷沟口海拔 620 m, 高差 1 930 m, 纵坡降约 25‰。流域集水范围主要分布在中上游, 海拔在 1 500 ~ 3 000 m, 水源主要靠降水和融雪补给, 多年平均流量 5.52 m³/s, 平均径流量 1.74 × 10⁸ m³, 主要用于农业灌溉和生活用水, 水量在时间上分布不均, 夏季有余, 秋季不足。

皮里青河流域地形东北高, 西南低, 水流自东北向西南流动, 汇入伊犁河。按照地貌类型大致可以分为三个地貌单元: 上游主要是中高山, 海拔高度在 2 500 ~ 3 500 m, 冰雪、流水侵蚀作用强烈, 坡面破坏严重, 呈现谷岭相间地貌; 中游以低山丘陵为主, 顶部平缓, 梳状展布, 顶部常覆盖砾石和黄土; 下游为山前冲洪积地区, 多为缓倾的含砾细土平原。地质灾害多发育在中上游区域, 下游地区基本位于伊宁市和伊宁县辖区, 基本无灾害。

流域出露地层主要为 Q₃^{col} 风积黄土, 河谷局部有次生黄土。风积黄土基本覆盖全流域, 从山前冲洪积平原、丘陵区, 到中山—高山区均有分布。黄土厚度变化较大, 从几米到十几米不等, 背风坡黄土分布厚度较薄, 局部基岩出露, 迎风坡黄土分布厚度较大, 最大厚

度可达 10 余米。黄土底部地层主要以火山岩和沉积岩为主, 流域上游中高山基岩为奥陶系中基性火山岩、火山碎屑岩夹灰岩; 中游主要是石炭系灰绿色粗砂岩、砂砾岩、砂质灰岩、凝灰熔岩、凝灰岩等; 下游主要是三叠系灰黑、灰、灰绿色泥岩与砂岩不均匀互层。

流域属于西天山优地槽褶皱带下博罗科努山复背斜, 复背斜构造线方向以 NW - SE 为主。流域发育 4 条断裂带, 总体呈 NW - SE 延伸, 断层面总体南倾, 倾角在 50° ~ 80°。

皮里青河流域属于温带大陆性半干旱气候, 冬春温暖湿润, 夏秋干燥炎热, 昼夜温差明显, 年均气温 8.4 ℃, 年均降水 257 mm。上游和中游地区主要为草地, 偶有林地(灌木林地和疏林地), 下游河谷平原区沿巩乃斯河谷到东部平原地区, 主要为耕地及城镇建设用地。

2 滑坡类型与分布规律

2.1 滑坡类型

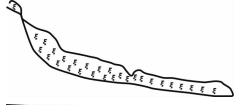
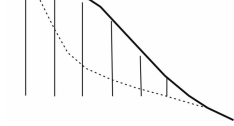
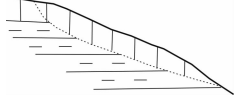
在滑坡类型方面, 开展的研究已经较多。叶米里扬诺娃根据滑动斜坡的破坏深度, 将滑坡分为表层滑坡和深层滑坡^[3]。在黄土区域, 许领等^[4]根据甘肃黑方台地区黄土滑坡发育, 划分黄土泥流、黄土层内滑动、黄土 - 泥岩接触面滑坡、黄土 - 泥岩顺层滑坡和黄土 - 泥岩切层滑坡等 5 类。吴玮江等^[3]结合甘肃地区黄土滑坡将其划分为四类: 黄土层内滑坡、黄土 - 基岩接触面滑坡、黄土 - 基岩顺层滑坡和黄土 - 基岩切层滑坡。皮里青河流域黄土厚度不大, 黄土滑坡发育厚度较浅。通过野外现场调查与无人机遥感调查, 皮里青河流域发育滑坡 14 处, 综合上述分类, 可以分为黄土泥流、黄土层内滑坡和黄土 - 基岩滑坡三种类型, 其主要特征见表 1。

2.2 空间分布特征

根据滑坡发育河流地貌位置、地层进行空间分区。

滑坡主要沿河谷发育在河流凹岸位置。流域中滑坡点主要位于河流上游, 阶地级数较少, 其中一级阶地发育较为明显, 为黄土堆积阶地, 多为公路和居民点所在平台。滑坡后缘位于坡顶坡度由缓变陡过渡段, 滑坡前缘基本位于河流一级阶地或者河漫滩。14 处滑坡均发育在皮里青河上游的三条一级支流, 其中两条主支沟右侧的支沟为皮里青河, 发育滑坡 5 处(H1 - H5), 其中 4 处滑坡前缘位于一级阶地或河漫滩; 左侧支沟为阿西沟, 发育滑坡 4 处(H6 - H9), 2 处滑坡前缘位于一级阶地或河漫滩; 第三条支沟为克孜勒赛沟, 发育滑坡 5 处(H10 - H14), 2 处滑坡前缘位于河

表 1 皮里青河滑坡类型表
Table 1 Landslide types in Piliqing River

类型	滑面	特征	示意图	比例
黄土泥流	滑坡段黄土层内裂隙	多发生于饱水黄土层内,上部为滑动状,下部为流动状;堆积体剪出口汇出沿下伏地形流动,堆积于坡下平缓地区,流动具持续性和远距性特点		21 %
黄土层内滑坡	黄土层内裂隙或者软弱面	滑动面位于非饱水黄土层内,滑面呈弧形;滑坡体主要由马兰黄土组成,堆积体呈凸状;滑坡后壁多沿黄土裂隙发育,受垂直节理控制,较陡直;滑速大,可形成高速远程滑坡		64 %
黄土-基岩滑坡	沿黄土下伏基岩顶面滑动	滑动面位于下伏基岩面,滑面较平直;滑坡体主要为马兰黄土,带动少量下伏基岩顶部风化层,堆积体呈凸状;滑距滑速一般较小,易复发		14 %

漫滩。滑坡发育于河流凹岸位置,主要因为河流凹岸侵蚀,阶地后退,形成陡坎临空面,增加滑坡产生的可能性(图 2)。

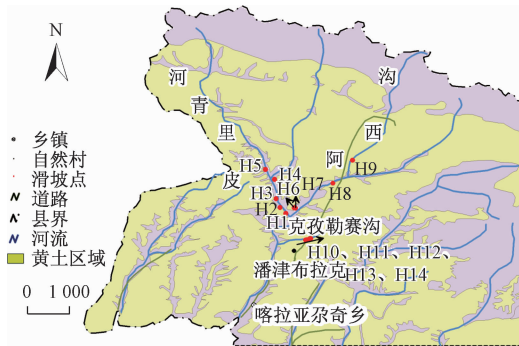


图 2 滑坡地层分布图

Fig. 2 Landslide stratigraphic distribution

滑坡均在黄土地层中发育。皮里青河流域地层结构较为简单,表层为风积黄土,底部为火成岩或者沉积岩,基岩出露较少。流域滑坡全部发育在黄土地层中(图 2),滑坡为黄土层内滑坡、黄土泥流和黄土基岩面滑坡,未发现黄土切层滑坡。

2.3 时间分布特征

滑坡的发生在时间方面与其主要诱因有关,如冰雪消融、降雨、爆破、地震等外部因素。根据滑坡发生时间的快慢,又具有同时性和滞后性的特点。同时性是指当诱因影响作用较强时,滑坡随着诱因发生而发生,滞后性是指诱因发生后稍晚的时间里,发生滑坡现象,该类诱因一般为人类工程活动或冻融等^[6-7]。

皮里青河流域黄土滑坡在时间分布上多发生在春季,14 处滑坡中已知有 11 处发生在 2017 年 3~4 月份(表 2)。滑坡发育时间集中,主要原因是冰雪融水入渗和冻融作用的影响。在冻融及入渗起主导作用的滑坡在时间上具有一定的滞后性^[8-9],根据多年气象资料(图 3),皮里青河流域 3~4 月份平均气温进入 0℃

以上,冰雪开始融化,融水入渗,造成滑动面水位上升和黄土土体强度降低,边坡稳定性降低。

表 2 滑坡发生时间统计表
Table 2 Time of landslides occurrence

编号	滑坡名称	发生时间
H1	皮里青河 1 号滑坡	2017. 4
H2	皮里青河 2 号滑坡	2017. 4
H3	皮里青河 3 号滑坡	2017. 4
H4	皮里青河 4 号滑坡	2017. 4
H5	皮里青河 5 号滑坡	未知
H6	阿西沟 1 号滑坡	2017. 4
H7	阿西沟 2 号滑坡	2017. 4
H8	阿西沟 3 号滑坡	2017. 3
H9	阿西沟 4 号滑坡	2017. 3
H10	克孜勒赛沟 1 号滑坡	2017. 4
H11	克孜勒赛沟 2 号滑坡	2017. 4
H12	克孜勒赛沟 3 号滑坡	未知
H13	克孜勒赛沟 4 号滑坡	2017. 4
H14	克孜勒赛沟 5 号滑坡	未知

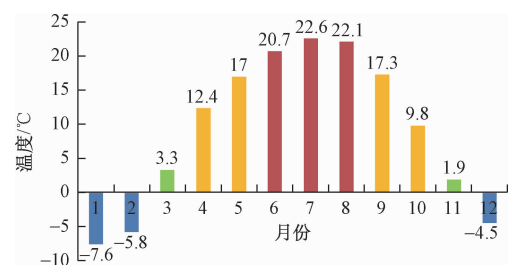


图 3 伊宁县多年月平均气温图

Fig. 3 The histogram of monthly mean temperature in Yining County

3 滑坡发育特征

3.1 形态与体积

皮里青河流域滑坡形态较为完整,平面形态大部分均为凸型(半圆形或者舌形),边界清晰,滑坡裂缝发育。无人机拍摄可见后壁拉张裂隙发育,后缘裂隙多呈弧形,开口方向与滑动方向相同,宽度最大可达

1 m。滑坡体表面也多以拉张裂缝为主,一般裂缝弯曲,大致与滑动方向垂直,裂缝宽数厘米至数十厘米不等,延伸长度数米至十余米。滑坡堆积体前缘形成明显鼓丘,或者由于前缘河流一级阶地或河漫滩,堆积体冲入河道,形成堰塞湖,溃决后流水侵蚀形成陡坎。多以滑坡群的形式分布,具有多级滑动特征。

按照体积将滑坡划分为小型滑坡、中型滑坡、大型滑坡和特大型滑坡 4 类。流域内黄土地层厚度较薄,滑坡均为黄土浅层滑坡,滑坡体厚度较小(一般不超过 10 m),规模均为中、小型滑坡(黄土泥流计算其前期滑坡体积)(图 4)。

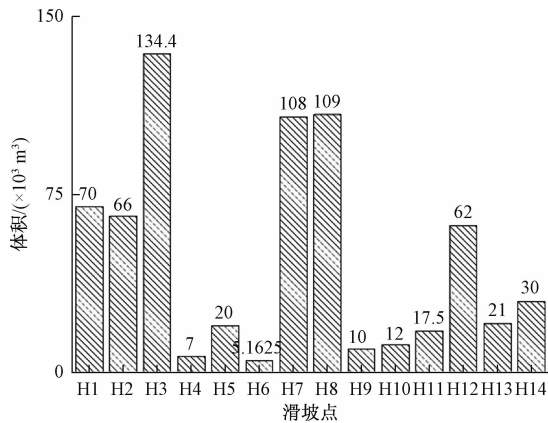


图 4 滑坡体积统计图

Fig. 4 The histogram of landslide scale

3.2 主滑方向

将滑坡主滑方向分为 8 个统计区间: $0^\circ \sim 45^\circ$ 、 $45^\circ \sim 90^\circ$ 、 $90^\circ \sim 135^\circ$ 、 $135^\circ \sim 180^\circ$ 、 $180^\circ \sim 225^\circ$ 、 $225^\circ \sim 270^\circ$ 、 $270^\circ \sim 315^\circ$ 、 $315^\circ \sim 360^\circ$, 滑坡发育数量分别为 4、3、2、0、0、0、1、4 处, 分别占滑坡总数的 28.57%、21.43%、14.29%、0.00%、0.00%、0.00%、7.14% 和 28.57% (图 5), 根据主滑方向统计数据, 皮里青河流域中, 滑坡主滑方向以东北和北西方向为主, 共 8 处, 占滑坡总数的 57.14%。皮里青河上游支流大致呈北西-东南和北东-南西方向发育, 造成边坡方向基本为北东-南西和北西-东南方向, 背阴坡多为北东和北西方向。该统计表明, 流域中黄土滑坡多发育背阴坡。背阴坡冬季多冰雪覆盖, 降水与冻融作用更加显著, 易发生滑坡。

3.3 滑坡坡度

将滑坡整体坡度分为 4 个统计区间: $10^\circ \sim 20^\circ$ 、 $20^\circ \sim 30^\circ$ 、 $30^\circ \sim 40^\circ$ 、 $\geq 40^\circ$ 四个区间, 统计结果 (图 6) 表明: 流域内滑坡坡度区间较为集中, 主要是 $30^\circ \sim 40^\circ$ 、 $20^\circ \sim 30^\circ$ 仅有 2 个滑坡, 为黄土泥流; $40^\circ \sim 50^\circ$ 为 1 个滑坡, 位于阿西沟南侧, 受流水侵蚀形成高陡临空

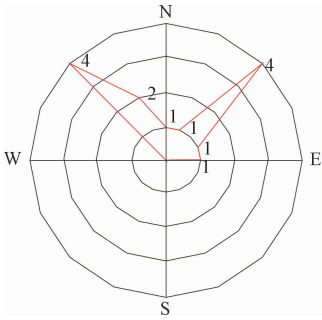


图 5 滑坡主滑方向图

Fig. 5 Landslide main sliding direction figure

面, 发生滑坡后整体坡度较大。皮里青河流域内黄土滑坡整体坡度集中, 主要与流域内黄土土体性质、斜坡构造特征、降雨特征较为类似相关。统计黄土层内滑坡滑动的垂直距离和水平距离 (表 3), 计算得出流域相似地层内滑坡的平均等效摩擦角为 22.70° , 视摩擦系数为 0.427, 可对流域内黄土滑坡防治与应急避险具有一定借鉴作用。

表 3 黄土层内滑坡视摩擦系数及摩擦角

Table 3 Friction coefficient and friction angle of landslides in the loess layer

编号	名称	视摩擦系数	视摩擦角
H1	皮里青河 1 号	0.393	21.51
H3	皮里青河 3 号	0.488	26.01
H4	皮里青河 4 号	0.534	28.11
H6	坑萨依沟 1 号	0.458	24.61
H7	坑萨依沟 2 号	0.601	31.02
H8	阿西沟 3 号	0.669	33.79
H12	克孜勒赛 3 号	0.248	13.94
H13	克孜勒赛 4 号	0.215	12.14
H14	克孜勒赛 5 号	0.234	13.19
平均		0.427	22.70

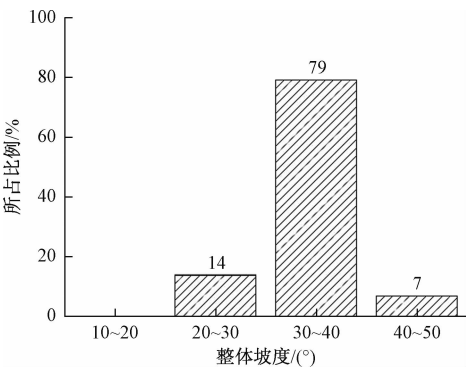


图 6 滑坡坡度统计图

Fig. 6 The histogram of landslide slope

4 滑坡诱发因素

皮里青河流域黄土滑坡在时间上, 滑坡多发生在

春季 3~4 月份,气温上升冰雪融化下渗,同时冻融作用强烈;在空间上主要沿河谷发育在河流凹岸位置,滑坡前缘为一级阶地或河漫滩上,易发生河流侵蚀作用。根据流域黄土滑坡时空分布特征,地形归纳皮里青河流域黄土滑坡主要诱发因素为降水作用、河流侵蚀与冻融作用。

4.1 降水作用

降水(冰雪融水)入渗可以降低黄土物理力学参数,降低黄土稳定性。在降水作用下黄土由表及里逐渐饱水,其各项物理力学参数有一定程度折减并发生湿陷破坏,导致不均匀沉降,重心外移,偏向临空面^[10]。降水入渗影响黄土的稳定性,雨水渗入到黄土表层,使其强度软化并增加了黄土重度导致滑坡产生^[11]。但黄土本身渗透性较低,降水(冰雪融水)在皮里青河流域多引发浅层黄土滑坡。如果斜坡后缘发育大量节理、裂隙、落水洞等通道,降水沿通道流入地下,易导致滑动面附近水位上升引起大型滑坡。流域中规模较大滑坡及其周边多可见裂隙及落水洞集中发育。

皮里青河所在伊宁县属于大陆性半干旱气候,降水总量不大,以降雪形式为主,冬春季较为集中(图 7)。流域降水季节性分布,为黄土滑坡集中发生在 3~4 月份,提供降水(冰雪融水)入渗条件。

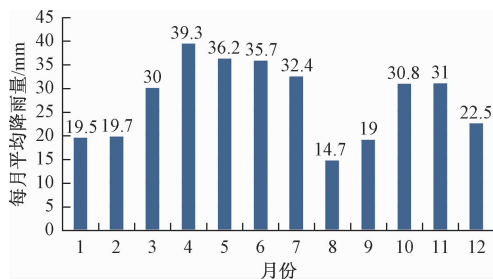


图 7 伊宁县年均降水图

Fig. 7 The histogram of average monthly rainfall in Yining County

4.2 河流侵蚀

黄土覆盖地区现代地貌的演变过程实际就是河谷及其两岸斜坡形成的过程,在此过程造成斜坡失稳,从而引发滑坡、崩塌和水土流失的发生。河流侵蚀作用成为地貌外部主要营力。河流侧蚀河岸后退,一级阶地前缘被侵蚀,导致两个作用:一是滑坡前缘抗滑段变短甚至消失,同时形成高陡临空面;二是阶地面上易形成基岩隔水,形成软弱的饱水带和滑动带。河流侧蚀发展到一定程度,一级阶地后缘黄土斜坡易失稳发生整体滑移。皮里青河流域内黄土滑坡多发育在河流凹岸(流域内 14 个滑坡中 10 个发育在河流凹岸,占

71.43%),主要受河流侧蚀作用影响。

4.3 冻融作用

冻融作用目前研究尚不深入,但一直都是诱发滑坡的重要因素,冻融渗透型滑坡主要是由于冰雪冻融引发斜坡岩土体的变形破坏^[12]。初步认为冻融作用可能产生两种效应:一是冻融作用可引起斜坡地下水的分布发生变化,造成地下水的富集和疏散。地下水富集造成土体软化,地下水疏散带来静水压力和动水压力突变,影响边坡的稳定性。二是反复冻融降低黄土本身结构强度。冻结土的强度远高于天然黄土,反复冻融作用会导致黄土强度显著降低^[13]。

黄土滑坡不仅与降雨滞水有关,还与冻结滞水联系紧密,冻结滞水效应使土体中地下水排泄通道受阻并聚集,孔隙水压力减小,稳定性降低。春季冻土融化,滞留水体突然开始排泄,水力梯度较高,进而导致边坡稳定性进一步降低,触发滑坡^[14]。伊犁地区的黄土滑坡发生时段多集中在初春的冻融季节。皮里青河流域中黄土滑坡发生在春季 3~4 月份左右,气温一般由零下上升到零度以上,冰雪由冻结状态开始融化,冻融作用较强。2017 年 3 月 24 日皮里青河一号滑坡(H1)发生,气象资料显示 3 月 23 日气温刚刚回升到 0℃ 以上(图 8)。

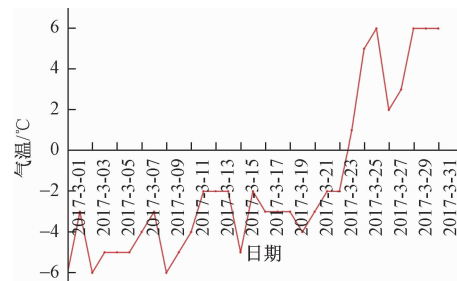


图 8 伊宁 2017 年 3 月气温(引县气象局)

Fig. 8 Temperature in Yining County March 2017

5 结论和讨论

5.1 结论

(1) 本文调查研究了皮里青河流域 14 处滑坡。滑坡黄土泥流、黄土层内滑坡和黄土-基岩滑坡三种类型,分别占比为 21%、64% 和 14%。

(2) 滑坡在空间上主要沿河谷发育在河流凹岸位置,集中在黄土地层中发育;在时间上,滑坡多发生在春季,14 处滑坡中已知有 11 处发生在 2017 年 3~4 月份。

(3) 流域滑坡特征明显。形态较为完整,平面形态大部分均凸型(半圆形或者舌形),边界清晰,多为小型滑坡;滑坡主滑方向以北东和北西方向为主;滑坡坡度区间较为集中,主要在 30°~40°。

(4) 滑坡诱发因素主要为降水作用、河流侵蚀和冻融作用。

5.2 讨论

随着西部开发和城镇化进程,导致地质环境容量过载,出现了很多地质灾害问题。结合对皮里青河流域滑坡规律的研究,提出该地区地质灾害防治工作应该重点做好监测预警与避让工作的建议。该区域内滑坡发生位置多处于河流凹岸的黄土层中,发生时间集中在3~4月冰雪融化期间,时空特征较为明显,较易于开展监测预警。流域内多小型黄土滑坡,单体威胁范围较小,开展工程治理经济性不强,结合牧民游牧生产方式,开展避险工作更为合理。

致谢:本文得到新疆地质环境监测院、伊犁州国土资源局、伊宁县国土资源局技术支持,深表感谢。

参考文献:

- [1] 杨奉广, 木合塔尔·扎日, 封丽华. 新疆伊犁地区地质灾害的形成与防治对策[J]. 新疆师范大学学报, 2005, 24(3): 117-120.
YANG Fengguang, Muhetaer·ZHARI, FENG Lihua. Formation of geological hazards in Yili area and measures for controls and prevention[J]. Journal of Xinjiang Normal University, 2005, 24(3): 117-120.
- [2] 任欣, 易加强. 新疆伊宁县地质灾害特征及防治[J]. 西部探矿工程, 2014(7): 101-103.
REN Xin, YI Jiaqiang. Characteristics and prevention of geological disasters in Yining, Xinjiang[J]. West-China Exploration Engineering, 2014(7): 101-103.
- [3] 叶米里扬诺娃. 滑坡作用的基本规律[M]. 1986.
Ye Miryanova. Landslides basic rules[M]. 1986.
- [4] 许领. 灌溉触发黄土滑坡机理[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所博士学位论文, 2010.
XU Ling. Irrigation triggered loess landslides mechanism[D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences, 2010.
- [5] 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报, 2002, 13(2): 36-40.
WU Weijiang, WANG Nianqin. Basic types and active features of loess landslide[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2002, 13(2): 36-40.
- [6] 赵建芳. 我国典型岩溶区滑坡灾害时空分布及灾情分析[D]. 山东师范大学, 2014.
ZHAO Jianfang. Landslides distribution and disaster analysis in typical karst areas of China - Guizhou as an example[D]. Shandong Normal University, 2014.
- [7] 段钊, 李文可, 王启耀. 泾河下游台塬区黄土滑坡类型与时空分布规律[J]. 西安科技大学学报, 2015, 35(3): 369-375.
DUAN Zhao, LI Wenke, WANG Qiyao. Types and spatial-temporal distribution of loess landslides in the south plateau of lower Jing River. [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2015, 35(3): 369-375.
- [8] 罗东海. 冻融期黄土滑坡实验研究[D]. 西安科技大学, 2010.
LUO Donghai. Experiment for loess landslide of freezing-thawing[D]. Xi'an University of Science and Technology, 2010.
- [9] 段钊, 赵法锁, 陈新建. 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[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 52-56.
DUAN Zhao, ZHAO Fasuo, CHEN Xinjian. Types and spatio-temporal distribution of loess landslides in loess plateau region—a case study in Wuqi County [J]. Disaster Science, 2011, 26(4): 52-56.
- [10] 董时俊. 降雨条件下灵台黄土滑坡变形机理分析[J]. 铁道工程学报, 2014, 31(10): 44-48+68.
DONG Shijun. Deformation mechanism of Lingtai loess landslide under rainfall condition [J]. Journal of Railway Engineering, 2014, 31(10): 44-48+68.
- [11] 刘文红. 黄土高原滑坡发育背景与成灾模式研究[D]. 长安大学博士学位论文, 2016.
LIU Wenhong. Study on the development background and disaster mode of landslides on loess plateau [D]. Chang'an University, 2016.
- [12] 刘传正. 中国崩塌滑坡泥石流灾害成因类型[J]. 地质评论, 2014, 60(4): 858-868.
LIU Chuazheng. Genetic types of landslide and debris flow disasters in China [J]. Geological Review, 2014, 60(4): 858-868.
- [13] 张茂省, 李同录. 黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 530-540.
ZHANG Maosheng, LI Tonglu. Triggering factors and forming mechanism of landslides [J]. Engineering Geology Journal, 2011, 19(4): 530-540.
- [14] 程鹏, 杨军海, 张亚卿. 黄土地区季节性冻融触发滑坡的机理分析[J]. 中外公路, 2017, 37(1): 6-9.
CHENG Peng, YANG Junhai, ZHANG Yaqing. Mechanism analysis of seasonal freezing and thawing triggered landslides in the loess region [J]. Chinese and Foreign Highways, 2017, 37(1): 6-9.