

秦巴山区地质灾害发育规律研究 ——以镇巴县幅为例

赵力行¹, 范 文^{1,2}, 柴小庆¹, 李 培³, 南亚林²

1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 工业和信息化部电子综合勘察研究院, 陕西 西安 10054; 3. 长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710054

摘 要: 以镇巴县幅为例, 通过现场地质灾害调查、无人机航拍、室内遥感解译的方法, 统计斜坡地质灾害的分布与地貌、坡度、坡向、斜坡结构类型、水系与公路的相关性, 得出以下结论: 1) 斜坡灾害发育与地貌紧密相关, 低山区与中山区斜坡地质灾害占灾害总数的 96.97%。2) 斜坡灾害主要分布在 20~40° 坡度区间内, 灾害数目占总斜坡灾害数目的 75.76%。3) 41% 的斜坡灾害分布在东、西两个方向斜坡上。4) 顺向坡最易发育地质灾害, 顺向坡地质灾害数量占总数的 33%。5) 河流对地质灾害有很强的控制作用, 45.45% 的地质灾害发生在距河流 200 m 范围内。6) 研究区内斜坡灾害与人类工程活动特别是修建公路有很强的相关性, 公路两侧 50 m 范围内发育斜坡灾害数量占总数的 55.56%。结合研究区地质灾害发育规律及遥感影像特征, 总结出一套适用于陕南秦巴山区的斜坡灾害识别方法, 可为防灾减灾及灾害识别提供技术支持。

关键词: 秦巴山区; 地质灾害; 遥感解译; 分布规律; 识别方法

STUDY ON THE DEVELOPMENT REGULARITY OF GEOHAZARDS IN QINLING-DABA MOUNTAINS: A Case Study of Zhenba County, Shaanxi Province

ZHAO Li-xing¹, FAN Wen^{1,2}, CHAI Xiao-qing¹, LI Pei³, NAN Ya-lin²

1. School of Geological Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China;
2. China Electronic Research Institute of Engineering Investigations and Design, Xi'an 710054, China;
3. School of Architectural Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China

Abstract: Taking Zhenba County as an example, the correlation between slope geohazard distribution and landform, gradient, aspect, structure type, water system and road are analyzed through field geohazard survey, UAV aerial photography and indoor remote sensing interpretation. The conclusions are shown as follows: 1) The development of slope hazards is closely related to landform, with slope hazards in low and middle mountains accounting for 96.97% of the total disasters. 2) Slope hazards are mainly distributed in gradient of 20–40°, accounting for 75.76% of the total. 3)

收稿日期: 2019-12-06; 修回日期: 2020-01-08. 编辑: 李兰英.

基金项目: 国家自然科学基金项目“基于 GIS 的浅层碎石土滑坡降雨入渗-稳定性实时评价模型研究”(41702293); 中国地质科学院探矿工艺研究所项目“大巴山区城镇地质灾害调查”(DDW2018-04); 陕西省科重点研发计划项目“秦巴山区地质灾害分级实时预警系统研制”(2019ZDLSF07-0701); 陕西省三秦学者项目资助(2016); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目“基于地形和影像的滑坡智能识别方法研究”(2019JQ-685).

作者简介: 赵力行(1995—), 男, 硕士, 主要从事工程地质与地质灾害等方面的研究工作, 通信地址 陕西省西安市雁塔区长安大学雁塔校区, E-mail//zhaolixing1995@163.com

通信作者: 范文(1967—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事山区地质灾害、黄土微观力学等方面的研究工作, 通信地址 陕西省西安市雁塔区长安大学雁塔校区, E-mail//fanwen@chd.edu.cn

Of slope hazards, 41% are distributed on the east and west slopes. 4) Bedding slope is the most prone to geohazards, accounting for 33% of the total. 5) Rivers have a strong control on geohazards, with 45.45% of the geohazards occurred within 200 m from the river. 6) Slope hazards in the study area are significantly correlated with human engineering activities, especially road construction. The slope hazards developed within 50 m on both sides of roads account for 55.56% of the total. Moreover, combined with the development regularity of geohazards and characteristics of remote sensing images in the study area, a set of slope disaster identification methods applicable to Qinling-Daba Mountains in southern Shaanxi Province are summarized, which provides technical support for disaster prevention, mitigation and identification.

Key words: Qinling-Daba Mountains; geohazard; remote sensing interpretation; distribution law; identification method; Shaanxi Province

0 引言

陕南秦巴山区地形起伏大,地质构造复杂,沟谷深切,降雨量较大,是全国地质灾害的高发地带。由于近年来人类工程活动的增多,尤其是修建公路、铁路,以及开垦农田等活动使得秦巴山区植被逐渐减少,斜坡稳定性降低^[1],导致该区域地质灾害的发生较为频繁^[2-3]。

据不完全统计,近 20 年来陕西省共发生地质灾害 8193 起,其中滑坡占 60%,多数发生在陕南秦巴山区。2000 年以后陕西省共发生了 6 起特大型地质灾害,其中 5 起位于陕南秦巴山区,造成大量的财产损失和人员伤亡^[4]。

镇巴县隶属秦巴山区,境内山势险峻,又属于长江流域汉江中游泾洋河流域,水系发育^[5],人地关系紧张。近年来由于修路、开垦农田、修建房屋等人类工程活动,使得不稳定斜坡数量增加,地质灾害发生概率大大提升。据镇巴县人民政府官网,2010 年 7 月,简池镇发生泥石流,损毁房屋,堵塞河道,并形成小型堰塞湖,给下游群众的生命财产安全带来极大隐患。2016 年 10 月,长岭镇发生严重山体滑坡,庙青路中断通行,办公楼被摧毁,一人受轻伤,财产损失严重。

由于没有准确的识别与预测方法,地质灾害的发生往往会带来严重的财产损失与人员伤亡^[6]。为了实现防灾减灾,对地质灾害的识别就成为当前地质学家研究的热点与难点。苏艳军等^[7]分析了钒矿区地质灾害形成与高程、坡度、坡型等因素之间的关系;侯兴利等^[8]分析了滑坡空间分布与地形地貌、岩土体类型、高程、坡度等因子之间的关系;褚宏亮等^[9]运用三维激光扫描技术对地质灾害进行早期识别。冯雨林等^[10]利用

3D 遥感技术,对地质灾害分布现状及规模进行了识别分析。高永志等^[11]总结出一套适用于矿山地质灾害的遥感解译标志。但是目前还缺乏一种普遍适用于陕南秦巴山区的地质灾害识别方法。

本文基于前人研究成果,同时结合镇巴县幅地质灾害调查结果,查明了研究区滑坡灾害分布、类型、成因及诱发因素,总结出一套适用于秦巴山区的地质灾害识别方法,为该区域的地质灾害识别与防治提供参考依据。

1 研究区概述

1.1 地理位置

研究区位于陕西省汉中市东南部镇巴县城及周边区域,范围为 107°45'00"~108°00'00"E,32°30'00"~32°40'00"N,隶属于镇巴县,县城距西安市 210 km,G210 国道经过镇巴县通往西安,研究区内各村均有公路连接,交通方便。

1.2 地形地貌

研究区位于南大巴山西北段^[12],区内水系发育,侵蚀严重,沟谷深切,地形高程在 560~1980 m 之间,以山地为主。将区内山地地形根据其绝对高程和相对高程的大小划分为 3 类:低山区、中山区和河谷阶地区,以中山地貌为主,约占研究区总面积的 74%。

1.3 地质构造

研究区属于南大巴山逆冲推覆构造带^[13],区内褶皱、断裂构造发育,地质灾害时常发生,区内构造格局总体由近南北向的褶皱、断裂组成。区内褶皱主要有:庙坝-镇巴复式向斜、司上-鸡心岭褶皱束。断裂主要有司上-小洋坝断裂、大池坝-镇巴隐伏断裂。

1.4 地层岩性

镇巴县幅在地层区划上属于扬子地层区,镇巴断裂是整个研究区的分界断裂,将研究区分为米仓山地层小区(西侧)和星子山地层小区(东侧)^[14]。

研究区内的米仓山地层小区分布有多个地层,包括中生界的侏罗系和三叠系,上古生界的二叠系以及下古生界的寒武系、奥陶系、志留系等地层。岩性主要以灰岩为主,其次还不同程度分布砂岩、泥岩(少量页岩、硅质岩夹杂分布)。

星子山地层小区主要分布的是中生界三叠系,上古生界二叠系,下古生界志留系、奥陶系和寒武系,新元古界震旦系和南华系等地层。野外地质调查发现,平行不整合接触出现在志留系与二叠系之间^[15]。岩性以灰岩、砂岩为主,局部分布有少量泥岩、页岩、硅质岩。

1.5 气候条件

研究区位于镇巴县内,属于北亚热带湿润季风气候^[16],四季分明,春季降雨量较少,夏季炎热多雨,秋季阴雨连绵,冬季平均气温在零度以上。据镇巴县气象站资料,镇巴县年平均气温 13.9℃,极端最高气温 38.3℃,极端最低气温 -12.2℃。区内降雨丰富,平均降雨量 1275.7 mm,多年最大降水量 1974.6 mm(1983年),多年最小降水量 789.0 mm(1966年),降雨主要集中在夏秋两季。研究区地形地貌起伏较大,降雨时空分布不均。

2 地质灾害发育规律

本文地质灾害调查采用室内人机交互遥感解译与野外实地调查相结合的调查方式,对区内的滑坡,崩塌,泥石流及不稳定斜坡进行了调查。共调查滑坡 93 处(老滑坡 36 处,新滑坡及隐患点 57 处),占 90.29%;崩塌 6 处,占 5.83%;泥石流 4 处,占 3.88%(表 1)。

表 1 研究区地质灾害类型及发育数量统计表

Table 1 Types and numbers of geohazards in the study area

灾害类型	数量	占比/%
滑坡	93	90.29
崩塌	6	5.83
泥石流	4	3.88
总计	103	100

从表中可以看出,研究区地质灾害以滑坡、崩塌为主,占总地质灾害数量的 96.12%,因而本文主要研究斜坡灾害(即滑坡、崩塌)的分布规律。

2.1 斜坡灾害分布与地貌关系

研究区主要分为 3 类地貌,即中山区、低山区和侵蚀堆积河谷阶地地貌。研究区以中山地貌为主,面积为 73.79%。斜坡灾害在各类地貌中均有分布。对地质灾害和地貌进行空间叠加分析,可得各地貌单元内灾点的分布情况(表 2、图 1)。

表 2 斜坡灾害分布与地貌关系

Table 2 Relation between slope hazard distribution and landform

地貌类型	面积/km ²	灾害个数	灾点个占比/%	灾害密度/(个/km ²)
河谷阶地	6.64	3	3.03	0.45
低山区	87.79	56	56.57	0.64
中山区	339.50	40	40.40	0.12

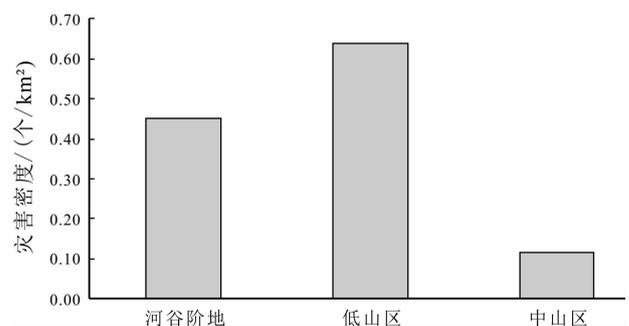


图 1 斜坡灾害与地貌关系图

Fig. 1 Hazard distribution vs. landform

由图 1 可见,低山区灾害密度最大,这是因为大部分耕地、居民地大多分布在低山区,由于人类活动的影响,使得低山区灾害点数量与密度均为最多,而由于部分中山区切坡修建简易公路,造成中山区灾害点数目较多,但灾点密度并不高。

2.2 斜坡灾害与坡度关系

研究区处于大巴山山区。根据野外地质灾害调查,将研究区内斜坡划分为平坦坡(<10°)、缓坡(10~20°)、斜坡(20~30°)、陡坡(30~40°)、急坡(40~50°)和险坡(>50°以上)等 6 类。区内 30~40°,即陡坡区域范围最大。统计不同斜坡类型(坡度区间)内斜坡灾害数(表 3、图 2)可以看出,研究区斜坡灾害主要分布在 20~40°坡度区间内,即斜坡、陡坡 2 种坡发育的灾害数

目合计占总斜坡灾害数目的 75.76%。累计百分数曲线如图 3 所示,可以看出,20°是斜坡灾害大量发生的转折点.从 20°开始,灾点数量显著增加,累计百分数曲线斜率显著增大,直到 40°以后,灾害点数量增长趋势逐渐变缓。

表 3 斜坡灾害分布与坡度关系

Table 3 Relation between slope hazard distribution and gradient

斜坡类型	面积/km ²	灾害个数	灾点占比/%	灾害密度/(个/km ²)
平坦坡	18.96	7	7.07	0.37
缓坡	51.68	8	8.08	0.15
斜坡	117.95	42	42.42	0.36
陡坡	160.70	33	33.33	0.21
急坡	74.84	8	8.08	0.11
险坡	9.74	1	1.01	0.10

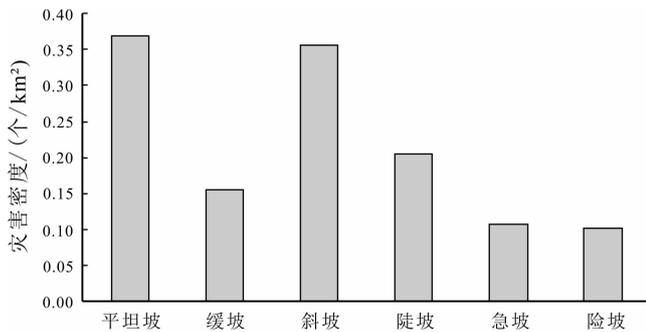


图 2 斜坡灾害与坡度关系图

Fig. 2 Slope hazard distribution vs. gradient

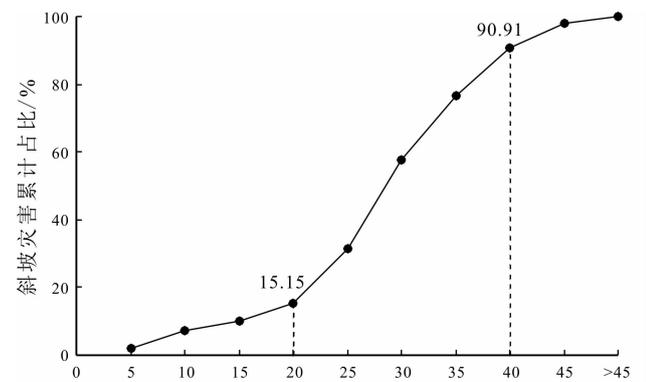


图 3 斜坡灾害与坡度的累计曲线图

Fig. 3 Cumulative curve of slope hazard distribution to gradient

2.3 斜坡灾害与坡向关系

对坡向进行 45°分级,依次为北(337.5~22.5°)、东

北(22.5~67.5°)、东(67.5~112.5°)、东南(112.5~157.5°)、南(157.5~202.5°)、西南(202.5~247.5°)、西(247.5~292.5°)、西北(292.5~337.5°)以及坡度为 0°的平地(主要分布在县城周边的水域)^[17]。

根据对研究区的 99 个斜坡灾害点实地调查,统计每个坡向的灾害点个数(见表 4、图 4),可见斜坡灾害的坡向在除平地外各个坡向等级均有分布,并非明显的阴阳坡分布。

表 4 斜坡灾害分布与坡向关系

Table 4 Relation between slope hazard distribution and aspect

坡向	倾向/(°)	面积/km ²	灾害个数	灾点占比/%	灾害密度/(个/km ²)
平地		3.08	0	0	0
北	337.5~22.5	40.97	4	4.04	0.10
东北	22.5~67.5	55.34	12	12.12	0.22
东	67.5~112.5	69.65	25	25.25	0.36
东南	112.5~157.5	48.52	11	11.11	0.23
南	157.5~202.5	43.79	8	8.08	0.18
西南	202.5~247.5	62.45	14	14.14	0.22
西	247.5~292.5	63.75	16	16.16	0.25
西北	292.5~337.5	46.33	9	9.09	0.19

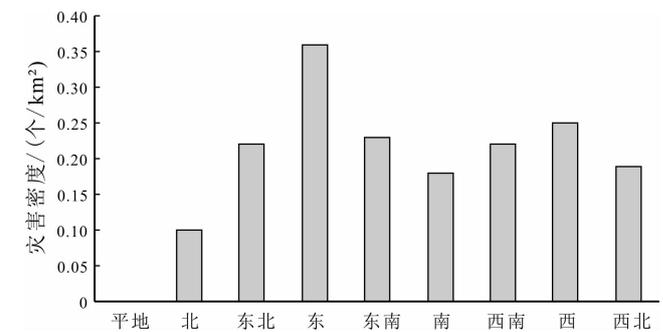


图 4 斜坡灾害与坡向关系图

Fig. 4 Slope hazard distribution vs. aspect

由图 4 可以看出,研究区东、西方向斜坡灾害数量较多,这一点受研究区内河流影响.研究区内主要河流有泾洋河(由西南流向绕镇巴县城变为向北流)、月滩河(北—南流向),造成河流两岸斜坡倾向主要为东或西方向,同时由于河流的侵蚀作用,使得河流两岸滑坡较为发育,最终表现为滑坡分布于东、西坡较多。

2.4 斜坡灾害与斜坡结构类型关系

斜坡结构类型由斜坡坡向与岩层倾向组合而成,

对研究区的斜坡灾害分布有着重要的影响. 根据《崩塌滑坡泥石流地质灾害调查与风险评估技术要求》中斜坡结构类型划分方案, 对研究区内的斜坡类型进行划分, 根据斜坡倾向与岩层倾向的夹角(α)将研究区的斜坡分为顺向坡($<30^\circ$)、顺斜向坡($30\sim 60^\circ$)、横向坡($60\sim 120^\circ$)、逆斜向坡($120\sim 150^\circ$)、逆向坡($150\sim 180^\circ$) 5 类^[18-19](表 5、图 5).

表 5 斜坡灾害分布与斜坡结构类型关系

Table 5 Relation between slope hazard distribution and structure types

α	斜坡结构类型	灾害个数	灾点占比/%
0~30°	顺向坡	33	33.33
30~60°	顺斜向坡	19	19.19
60~120°	横向坡	19	19.19
120~150°	逆斜向坡	13	13.13
150~180°	逆向坡	15	15.15

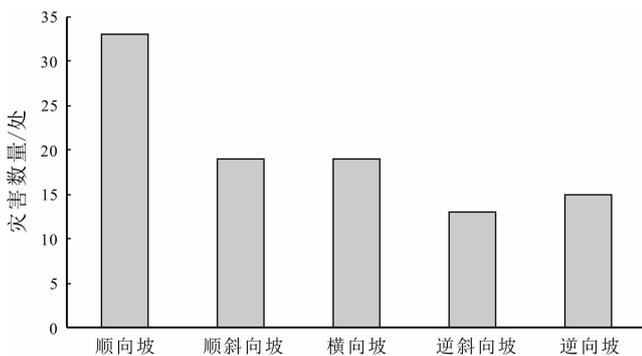


图 5 斜坡灾害与结构类型关系图

Fig. 5 Slope hazard distribution vs. structure types

对斜坡灾害的分布进行统计分析, 由图 5 可见顺向坡更容易发生斜坡灾害. 在研究区的 99 处斜坡灾害中, 顺向坡发育 33 处斜坡灾害, 占总数的 33%, 顺斜向坡和横向坡次之.

2.5 地质灾害与水系关系

研究区水系较为发育, 以泾洋河、月滩河为主, 并发育有众多支流. 河流逐渐侵蚀下切着两岸的斜坡坡脚, 并且由于水的软化作用, 使得两岸岩体强度降低^[20]. 在旱季与雨季, 河流水位变化引发水压力的变化. 多种因子作用, 降低了研究区内河流两岸斜坡稳定性.

按照距河流距离将研究区划分为 6 个等级: <200 m、200~400 m、400~600 m、600~800 m、800~1000 m、

>1000 m. 统计分析不同距离区间内灾害发育数量, 如表 6、图 6. 距离河流 200 m 范围内, 斜坡灾害发育明显, 灾点个数及密度均最高. 地质灾害密度与距河流距离在 600 m 范围内呈负相关, 当距离大于 600 m 后, 斜坡灾害密度与河流距离相关性不高.

表 6 斜坡灾害分布与距水系距离关系

Table 6 Relation between slope hazard distribution and distance from rivers

距河流距离/m	面积/km ²	灾害个数	灾点占比/%	灾害密度/(个/km ²)
<200	94.85	45	45.45	0.47
200~400	84.15	14	14.14	0.17
400~600	73.11	5	5.05	0.07
600~800	60.80	8	8.08	0.13
800~1000	46.68	9	9.09	0.19
>1000	71.36	18	18.18	0.25

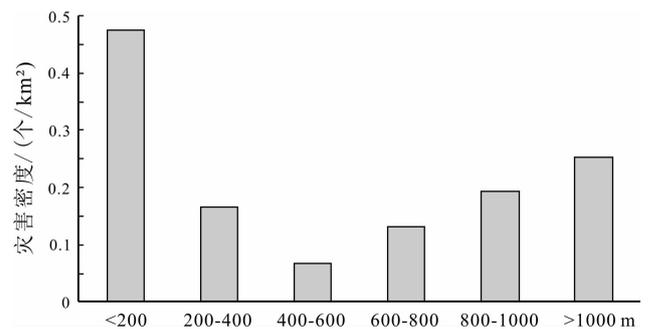


图 6 斜坡灾害与距水系距离关系图

Fig. 6 Slope hazard distribution vs. distance from rivers

2.6 地质灾害与人类工程活动关系

研究区内的人类工程活动主要有修建公路、石料开采及农民耕作, 其中, 修建公路不合理切坡是造成斜坡灾害发生的主要原因. 为研究斜坡灾害发育与修建公路之间的关系, 按照距公路距离将研究区划分为 4 个等级: <50 m、50~100 m、100~150 m、>150 m(表 7、图 7).

表 7 斜坡灾害分布与距公路距离关系

Table 7 Relation between slope hazard distribution and distance from roads

距公路距离/m	面积/km ²	灾害个数	灾点占比/%	灾害密度/(个/km ²)
50	19.23	55	55.56	2.86
50~100	16.83	19	19.19	1.13
100~150	15.70	5	5.05	0.32
>150	379.19	20	20.20	0.05

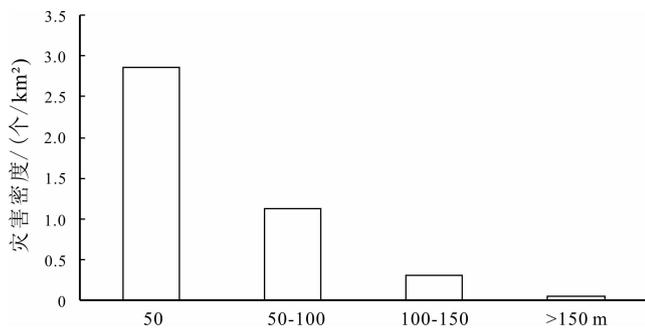


图7 斜坡灾害与距公路距离关系图

Fig. 7 Slope hazard distribution vs. distance from roads

统计分析不同距离区间内斜坡灾害发育数量,如表7.可以看出,研究区修建公路对斜坡灾害的发育有明显的影响作用.在距离公路50 m范围内,斜坡灾害发育明显,灾点个数及密度均最高.距离公路越远,斜坡灾害密度越小.研究区修建公路与斜坡灾害发生呈

明显负相关.

3 地质灾害识别方法研究

3.1 遥感解译方法

本次遥感解译以 ArcGIS 为平台建立三维模型,叠加不同年份的遥感影像、DEM 数据,合成 2015 年(图 8a)和 2018 年三维遥感影像(图 8b),使之同时具有研究区的地形、影像信息,并能够 360°旋转,同时利用 ArcScene 软件,对三维地形上的影像色调、纹理及周围地物等方面进行综合判识,解译其中新近发生的滑坡、具有较明显地形特征的老滑坡以及已经产生明显迹象的滑坡.

3.2 遥感解译识别标志

根据本区滑坡特征,滑坡解译标志包括色彩、影像纹理、地形地貌以及多时相影像图之间的对比.

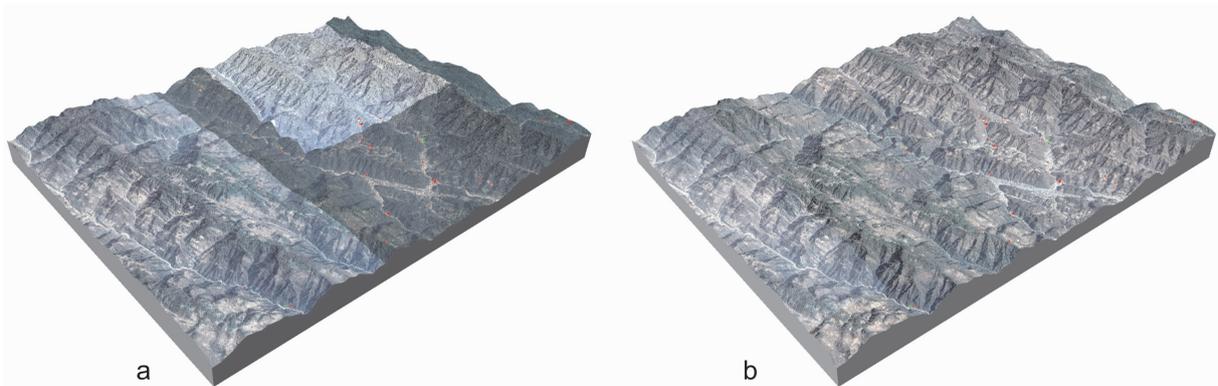


图8 三维遥感影像图

Fig. 8 3D remote sensing image of the study area

a—2015年; b—2018年

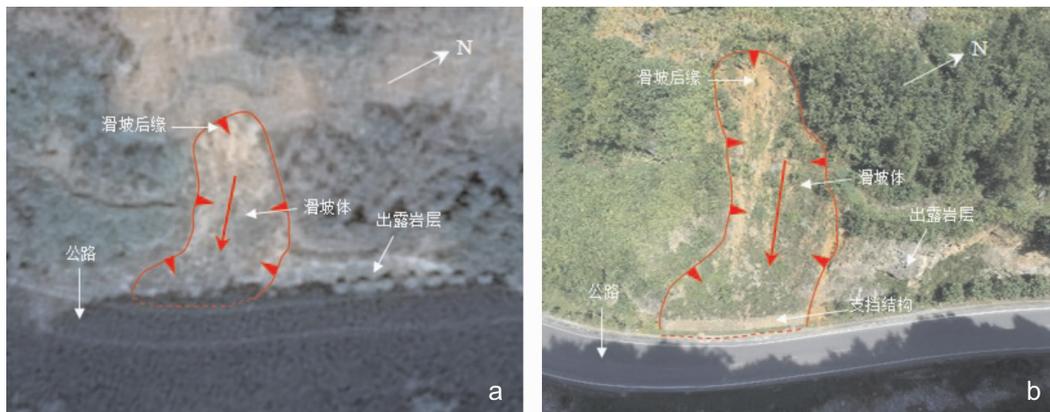


图9 典型老滑坡解译标志

Fig. 9 Interpretation signs of typical old landslide

a—三维影像(3D remote sensing image); b—航拍图片(aerial photograph)

(1)色彩

老滑坡在三维模型上色调较深,主要表现为黄褐色,坡体上已经有植被覆盖,多为灌木,较周围植物年轻^[21],部分老滑坡前缘还有居民点与支挡结构(图 9a);新滑坡在三维模型上一般表现为色调浅^[22],主要为灰

白色,滑坡体上有一些零星的淡绿色,与周围地物分界明显(图 9b).

(2)影像纹理

老滑坡影像纹理较周围环境较为粗糙,有一些顺坡向的纹理,实地调查为滑坡体上的冲沟,部分老滑坡

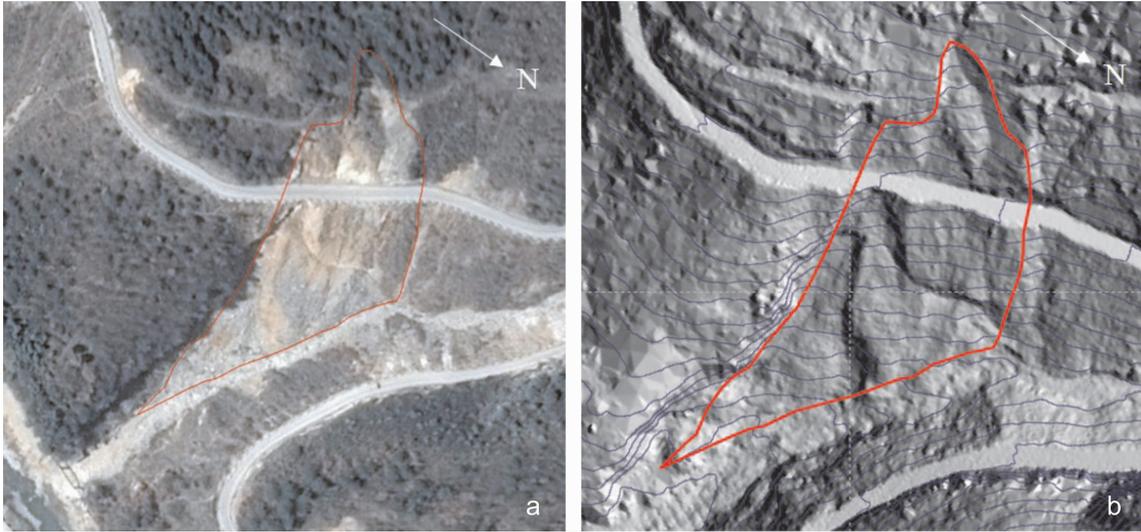


图 10 滑坡地形地貌解译标志

Fig. 10 Topographic and geomorphic interpretation signs of new landslide
a—新滑坡遥感影像图(remote sensing image); b—新滑坡山体阴影图(mountain shadow image)

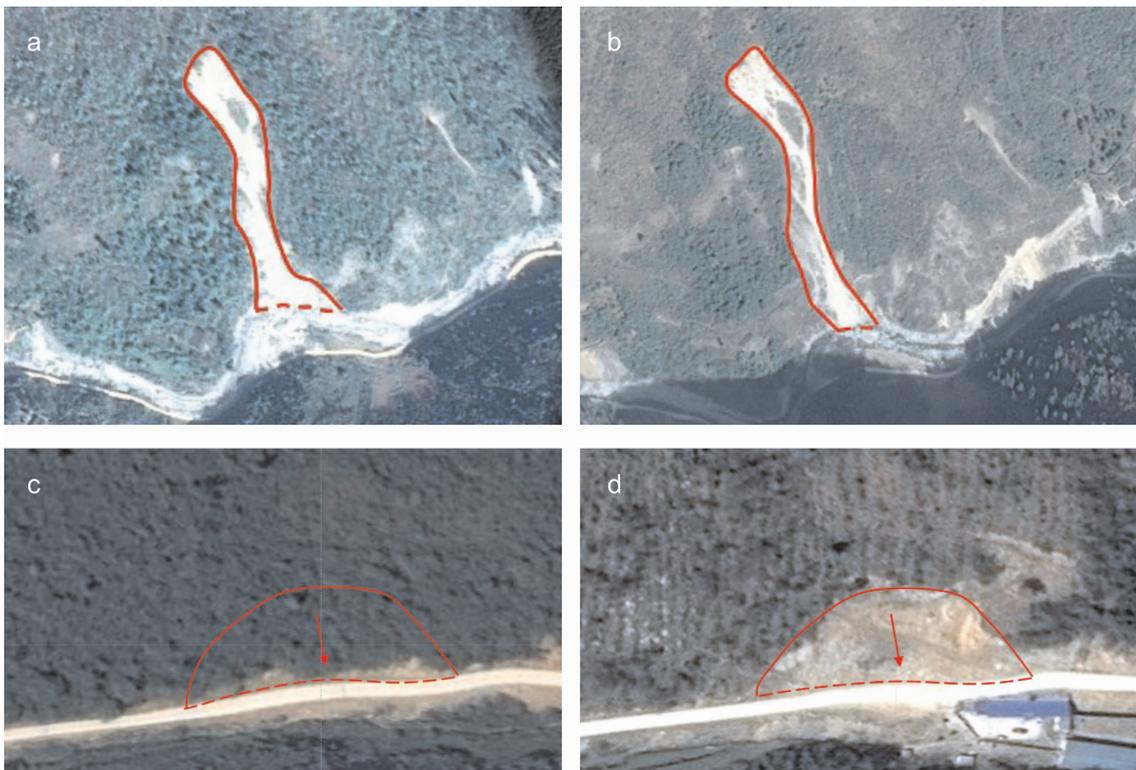


图 11 新近发生滑坡遥感解译标志

Fig. 11 Interpretation signs of recent landslides by remote sensing

上有农田,呈浅绿色条带状纹理.新滑坡纹理较老滑坡粗糙,植被覆盖较少.

(3)地形地貌

研究区新滑坡多发生在河流岸坡及道路两旁的斜坡、陡坡(坡度区间为20~40°)中.部分滑坡在山体阴影上,与周围地物有明显分界线,后壁有陡坎或者基岩出露,滑坡边缘等高线密集,地形起伏较大(图10),可以根据这些标志进行解译.

(4)多时相影像图对比

部分新近发生的滑坡发生在两影像拍摄时间间隔内,在影像图上主要表现为滑坡范围内的植被覆盖变为土体裸露,色彩由绿色变为黄褐色(图11c、d).部分

发生在2015年之前的滑坡,滑坡体开始有部分植被覆盖,随着时间推移,滑坡体植被覆盖更为浓密,颜色由灰白色变为以灰绿色为主(图11a、b),需要结合周围地物进行判别.

3.3 遥感解译识别结果

镇巴县幅共解译滑坡点50处,对其进行野外验证,发现其中有灾点39处(经现场验证,其中有老滑坡15处,新滑坡及隐患点22处,崩塌点2处),解译正确率为78%.误判点中,验证结果多为斜坡(农田或荒地)、人工开挖岩石裸露面、采石场、人工堆积等,解译信息见表8.

表8 遥感解译信息表

Table 8 Interpretation information by remote sensing

解译滑坡编号	滑坡类型	主滑方向/(°)	坡度/(°)	面积/m ²	斜坡结构	是否为灾点	解译滑坡编号	滑坡类型	主滑方向/(°)	坡度/(°)	面积/m ²	斜坡结构	是否为灾点
HPJ001	新滑坡	150	55	8037	斜向坡	是	HPJ026	老滑坡	27	44	1574	顺向坡	是
HPJ002	老滑坡	138	42	795	横向坡	是	HPJ027	新滑坡	144	36	946	顺向坡	否
HPJ003	老滑坡	241	34	1276	逆向坡	是	HPJ028	老滑坡	269	22	4025	横向坡	是
HPJ004	新滑坡	139	37	1533	顺向坡	是	HPJ029	新滑坡	69	36	1030	顺向坡	是
HPJ005	新滑坡	240	28	759	逆向坡	否	HPJ030	崩塌	89	52	3560	横向坡	是
HPJ006	新滑坡	75	47	2124	顺向坡	是	HPJ031	崩塌	276	55	7191	逆向坡	是
HPJ007	新滑坡	114	30	2878	斜向坡	是	HPJ032	新滑坡	157	16	3193	斜向坡	否
HPJ008	新滑坡	263	39	1733	逆向坡	是	HPJ033	新滑坡	355	35	318	斜向坡	是
HPJ009	老滑坡	307	27	24209	逆向坡	是	HPJ034	新滑坡	282	13	4730	顺向坡	否
HPJ010	老滑坡	252	30	7587	斜向坡	是	HPJ035	老滑坡	75	31	4167	顺向坡	是
HPJ011	新滑坡	95	24	2003	斜向坡	是	HPJ036	新滑坡	297	22	1782	斜向坡	否
HPJ012	新滑坡	314	29	1798	逆向坡	否	HPJ037	新滑坡	200	28	4524	横向坡	是
HPJ013	老滑坡	82	39	7364	顺向坡	是	HPJ038	新滑坡	231	27	4840	逆向坡	是
HPJ014	新滑坡	180	30	14862	斜向坡	是	HPJ039	新滑坡	157	44	4295	斜向坡	是
HPJ015	新滑坡	162	27	32215	横向坡	是	HPJ040	新滑坡	234	47	1213	逆向坡	是
HPJ016	老滑坡	98	36	1373	顺向坡	是	HPJ041	老滑坡	62	28	812	顺向坡	是
HPJ017	老滑坡	85	23	3172	斜向坡	是	HPJ042	老滑坡	147	60	978	斜向坡	是
HPJ018	老滑坡	231	35	1262	斜向坡	是	HPJ043	新滑坡	0	29	5975	横向坡	是
HPJ019	新滑坡	100	37	1982	逆向坡	是	HPJ044	老滑坡	120	28	1938	顺向坡	是
HPJ020	新滑坡	28	38	539	横向坡	是	HPJ045	新滑坡	87	45	211	逆向坡	是
HPJ021	新滑坡	171	25	624	横向坡	是	HPJ046	老滑坡	229	35	5884	斜向坡	是
HPJ022	新滑坡	265	38	437	逆向坡	是	HPJ047	新滑坡	146	14	2574	横向坡	否
HPJ023	新滑坡隐患	243	70	56507	逆向坡	是	HPJ048	新滑坡	158	28	1376	横向坡	否
HPJ024	新滑坡	150	31	1160	横向坡	否	HPJ049	新滑坡	68	29	9880	斜向坡	否
HPJ025	新滑坡	92	55	578	顺向坡	是	HPJ050	新滑坡	223	24	30694	斜向坡	否

3.4 滑坡识别特征总结

根据研究区内斜坡灾害发育规律及遥感解译识别规律,总结一套适用于陕南秦巴山区的斜坡灾害识别方法,主要包含现场识别标志、地质识别标志,遥感影像识别标志(表9)。

表9 斜坡灾害识别方法

Table 9 Identification marks of slope hazards

现场识别标志	后壁或中部有裂缝、陡坎,前缘鼓出
	植被较少,部分树木倾斜
	坡型一般呈凸型
地质识别标志	斜坡高陡,土质疏松
	坡脚有落石
	发育地貌:低山区与中山区
遥感识别标志	地形坡度:20~40°
	坡向:东、西向斜坡
	斜坡结构类型:顺向、顺斜向、横向坡
遥感识别标志	老滑坡:色调较深;坡体植被覆盖;部分老滑坡前缘已有居民点与支挡结构;具顺坡向纹理
	新滑坡:色调较浅;纹理粗糙;分布于河流及道路两旁的斜坡中;多时相影像,形状色彩变化

4 结论

通过对该区域地质灾害分布规律及遥感影像识别规律研究,可得出如下结论。

(1)镇巴县幅地质灾害共计103处,其中滑坡93处,占90.29%;崩塌6处,占5.83%;泥石流4处,占3.88%。

(2)斜坡灾害主要分布在低山、中山区河谷两侧的东西向斜坡、陡坡上(坡度区间20~40°)。研究区内地质灾害发育与人类工程活动,特别是修建公路有很强的相关性,公路两侧50m范围内发育的斜坡灾害占斜坡灾害总数的55.56%。

(3)滑坡灾害的遥感影像识别标志概括如下:颜色呈黄褐色、灰白色;具顺坡向纹理;位于河流岸坡及道路两旁的斜坡中;后壁有陡坎或基岩出露;多时相影像图之间色彩有差异。本文总结出的斜坡灾害识别方法可以对陕南秦巴山区地质灾害进行识别,为研究区地质灾害调查及防灾减灾工作提供参考依据。

参考文献:

[1]韩金良,吴树仁,李东林,等.秦巴地区地质灾害的分布规律与成因

- [J].地质科技情报,2007,26(1):101-108.
- [2]李培,范文,于国强,等.秦岭矿产资源开采区斜坡灾害发育规律与识别研究——以山阳—商南钒矿开采区为例[J].工程地质学报,2018,26(5):1162-1169.
- [3]房浩,李媛,杨旭东,等.2010—2015年全国地质灾害发育分布特征分析[J].中国地质灾害与防治学报,2018,29(5):1-6.
- [4]宁奎斌,李永红,何倩,等.2000~2016年陕西省地质灾害时空分布规律及变化趋势[J].中国地质灾害与防治学报,2018,29(1):93-101.
- [5]颜海军.镇巴县地质灾害发育规律分析[C]//陕西环境地质研究——2014年陕西省地质灾害防治学术研讨会论文集.西安:陕西省地质学会,陕西省地质学会环境地质与灾害地质专业委员会,陕西省地质调查院,2014:6.
- [6]梁鑫,范文,苏艳军,等.秦岭钒矿集中开采区隐蔽性地质灾害早期识别研究[J].灾害学,2019,34(1):208-214.
- [7]苏艳军,梁鑫.钒矿带矿区地质灾害危险性评价——以陕西山阳—商南钒矿带中村镇钒矿开采区为例[J].地质与资源,2019,28(3):280-288.
- [8]侯兴利,陈建勋,张恋.基于ArcGIS的滑坡空间分布的变维分形研究——以江西省宁都县为例[J].地质与资源,2019,28(3):293-297.
- [9]褚宏亮.三维激光扫描技术在地质灾害调查、形变监测和早期识别方面的研究[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- [10]冯雨林,杨佳佳,蔡贺.基于3D影像模型的长白山天池地质灾害现状与潜在危害分析[J].地质与资源,2016,25(4):395-400.
- [11]高永志,初禹,薛广垠,等.黑龙江省矿山地质灾害遥感调查研究[J].地质与资源,2017,26(2):161-164,189.
- [12]刘战庆,裴先治,丁仁平,等.南大巴山西北段镇巴—下高川地区地质构造解析[J].地球科学与环境学报,2011,33(1):54-63.
- [13]李瑞保.南大巴山镇巴—城口段构造变形特征及构造演化[D].西安:长安大学,2009.
- [14]裴先治,李瑞保,丁仁平,等.陕南镇巴地区大巴山与米仓山构造交接关系[J].石油与天然气地质,2009,30(5):576-583.
- [15]王飞.陕南镇巴地区南华系—震旦系岩石地层划分与区域对比[D].西安:长安大学,2009.
- [16]王福恒.基于GIS的区域公路边坡灾害评价与预测研究[D].西安:长安大学,2011.
- [17]羊秀娟,黎武,杨晓.不同DEM分辨率下影响三台县水土流失的地形因子分析[J].安徽农学通报,2017,23(12):91-93.
- [18]李凯.陕西山阳县中村钒矿区滑坡形成机理及早期识别研究[D].西安:长安大学,2017.
- [19]王佳运,王根龙,石小亚.陕西山阳特大型滑坡视向滑移—溃屈破坏力学分析[J].中国地质,2018,46(2):381-388.
- [20]王慧.山区地质灾害易发性区划与降雨诱发时空联合预报研究[D].重庆:重庆大学,2016.
- [21]邓辉.高精度卫星遥感技术在地质灾害调查与评价中的应用[D].成都:成都理工大学,2007.
- [22]王云南,任光明,王家柱,等.滑坡遥感解译研究综述[J].西北水电,2017(1):17-21.