

文章编号: 1008-2786-(2017)2-203-09

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000213

基于二元逻辑回归模型的新疆果子沟滑坡风险区划

赵良军¹ 陈冬花² 李虎^{3*} 刘玉锋³

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆卫星应用中心 新疆 乌鲁木齐 830000;
3. 滁州学院 安徽 滁州 239000)

摘 要: 新疆果子沟区域是我国与中亚地区社会、经济、文化交流的重要通道以及我国石油、天然气等能源资源安全大通道,沿途滑坡灾害频发,威胁人类安全、影响社会、经济发展,但该区域针对滑坡灾害的研究程度较低,需借助滑坡灾害易发性分析与风险等级评估结果指导防灾减灾。本文基于 GF-1 号卫星影像数据进行滑坡解译,选取地层岩性、断层密度、坡度、坡向、地表高程、植被指数等 6 个评估因子,探讨运用 GIS、RS 技术及统计分析模型进行滑坡灾害易发性分析与建模。基于频率比法分析各因子敏感性,利用二元 Logistic 回归模型进行灾害易发性分析,将研究区滑坡灾害风险分为极低、低、中、高、极高五个等级。将模型计算结果与历史滑坡信息进行比较,并借助 ROC Curve 检验模型准确性, AUC 为 0.844,表明模型预测结果具有较高准确性,因此建立的分析模型可以满足新疆果子沟区域滑坡灾害分析与评估应用,研究成果可为研究区重大线型工程保护、边坡加固提供辅助决策支持。

关键词: RS; 滑坡灾害; 频率比; Logistic 回归模型; 易发性

中图分类号: P694

文献标志码: A

果子沟是新疆伊犁地区的天然门户,是我国“古丝绸之路”北新道咽喉,有“铁关”之誉。在今天,它是我国与中亚地区社会、经济、文化交流的重要通道以及我国能源、资源大通道,也是我国西部著名旅游景区。近年来,由于极端气候事件,新疆果子沟滑坡、崩塌灾害频发。在 4-9 月的旅游旺季,地质灾害频繁造成公路阻塞、影响通行及人畜安全。例如 2002 年 9 月 6 日果子沟 80 米盘山公路整体下沉 8 米;2014 年 8 月 14 日发生山体滑坡阻断交通 46 天;2015 年 4 月 21 日滑坡引发泥石流覆盖道路 30 米;2016 年 5 月 10 日道路崩塌,均造成经济损失与社会影响,该区域的滑坡灾害亦对“西二线”输气管道有较大影响^[1]。

虽然前人已经从滑坡机理、地质构造等方面对新疆滑坡开展了分析^[2-3],也有学者针对这一区域

的公路自然灾害、岩土勘察及治理进行了研究^[4-5],但研究总体上仍处于较低水平^[6-7],关于新疆果子沟区域的滑坡灾害研究,相关文献寥寥无几,区域性滑坡易发性风险区划研究尚未开展。

然而,研究滑坡风险易发性分析及风险等级评估,国外学者在该领域已有丰富经验,取得了丰硕成果,将滑坡灾害易发性风险等级评估描述为在滑坡编目和滑坡灾害易发性分析结果的基础上,应用定性分析和定量分析、确定性模型和随机模型相结合对滑坡灾害易发程度进行分区表示的过程,国内学者在该领域亦成果丰硕^[8-9]。本文结合国内已有研究成果,以新疆果子沟为研究区,结合二元 Logistic 回归模型与因子选取,开展了滑坡易发性分析与风险等级区划。研究结果将填补果子沟滑坡易发性风险研究空白,为区内的油气管道、G30 高速公路等重

收稿日期(Received date): 2015-12-06; 改回日期(Accepted date): 2016-08-16。

基金项目(Foundation item): 国家高分辨率对地观测系统重大专项项目(95-Y40B02-9001-13/15) [Key Project Of National High Resolution Earth Observation System Projects (95-Y40B02-9001-13/15)]

作者简介(Biography): 赵良军(1980-),男,湖北京山人,主要研究方向为地理信息、资源环境遥感监测。[Zhao Liangjun(1980-), male, born in Jingshan, Hubei province, research interests include geographic information, resource and environment remote sensing monitoring]E-mail: 149189602@qq.com.

* 通信作者(Corresponding author): 李虎(1962-),男,博士,教授,主要研究方向为地理信息、遥感。[Li Hu(1962-), male, Ph. D., professor, specialized in GIS, remote sensing]E-mail: lihu2881@aliyun.com.

大线型工程滑坡灾害预警、风险评估与灾害治理提供辅助决策支持,为保障我国能源通道安全与边疆社会经济持续发展提供有益支撑。

1 研究区概况

研究区位于我国新疆伊犁哈萨克自治州霍城县境内(地理范围: 80. 88° ~ 81. 216° E, 44. 337° ~ 44. 499° N), 与哈萨克斯坦临近, 总面积 478. 12 km²。该区域地势总体上自东北向西南倾斜, 海拔约 1 060 ~ 3 354 m, 相对高差 20 ~ 100 m。由于受地质构造、地层岩性等因素的影响, 区内沟谷深切且狭窄, 有大小断裂 83 条, 总长度 308. 25 km。西北部峡谷多呈“V”字型, 危岩体、危石分布, 残坡积堆积物较发育, 主要以卵石夹含砾粘性土为主, 局部分布有黄土状土。东南部分沟谷较开阔, 呈“U”字型。谷内沟道曲折密布, 常年有水。受冻融及融雪性洪水影响, 滑坡、泥石流、崩塌等地质灾害频发, 研究区卫星影像如图 1 所示。

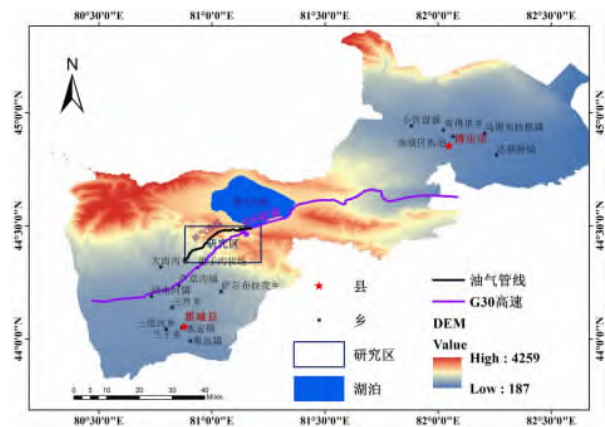


图 1 研究区遥感影像图

Fig. 1 Remote sensing images of the study region

2 研究方法

本文以 ArcGIS、ENVI、SPSS 作为数据处理、因子提取与分析模型构建平台。

(1) 建模因子确定

考虑地质、地形地貌、气象水文条件、植被因素, 在地理信息平台中进行数据预处理与建模参数提取, 构建相应的评估指标因子库, 通过频率比法来筛选、分析各指标因子与灾害的关系, 选取岩石岩性、构造断裂密度、植被指数、坡度、坡向、高程 6 个因子作为评估指标。

(2) 参数及模型验证

将评估指标进行标准化处理, 形成评估因子图层, 并在地理信息平台中进行叠加, 输入因子库。从因子库中抽取并分析因子图层, 重采样为 30 × 30 m/pixel 的网格, 在地理信息平台中生成随机样本点, 提取各图层像元值作为样本数值, 进行样本采集, 代入二元逻辑回归模型计算并验证, 流程如图 2 所示。

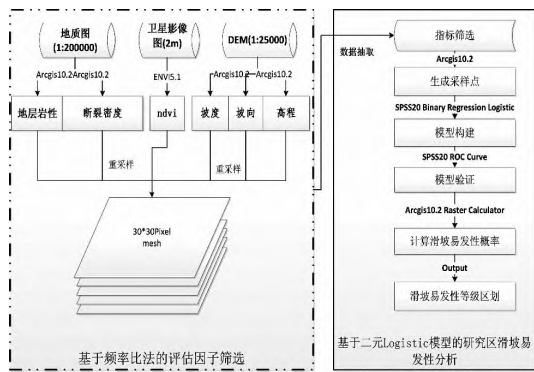


图 2 研究方法流程图

Fig. 2 Research flowchart

2.1 频率比法

频率比法(Frequency Ratio Method, 简称 FRM)用来确定影响滑坡灾害的主要致灾因子, 分析滑坡与评价指标因子的关系^[10-13]。基于将来发生的滑坡灾害与过去发生的滑坡灾害条件相同这一假设^[14-15], 通过归纳已经发生的滑坡的影响因素及其影响程度大小来分析滑坡与评估因子的相关程度, 见公式 1:

$$FR = \left(\frac{Ni/N}{Si/S} \right) \quad (1)$$

式中, FR 表示频率比, Ni 表示在某类条件下滑坡灾害的数量(用像元数表示), N 表示该类条件下

滑坡灾害的总数量(总像元数), S_i 表示某类条件下栅格所占的总像元数, S 表示该区域内栅格图层总像元数(如表 4)。当 FR 值大于 1 表示该因素与灾害相关度较大, 反之较小。如果某类因素的整体频率比都小于 1, 则说明该类因素与灾害关联度小, 可以剔除该类因素。

2.2 二元 Logistic 回归模型

二元 Logistic 回归模型(Binary Logistic Regression Model, LRM) 是对数线性模型的一种特殊形式, 在滑坡易发性分析中应用广泛^[16-18]。

它利用最大似然估计, 能保证每一点的拟合最优。该模型假设滑坡发生的概率为 P , 不发生的概率为 $1 - P$, 则 $\ln(P/(1 - P))$ 为 P 作 logit 变化, 记为 $\text{logit}(P)$ ^[19]。

$$\begin{aligned} \text{logit}(P) &= \ln(P/(1 - P)) \\ &= \alpha + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_m X_m \end{aligned} \tag{2}$$

$$Z = \alpha + \beta_1 X_1 + \cdots + \beta_m X_m \tag{3}$$

以 P 为因变量, 建立线性回归方程:

$$P = \frac{e^z}{1 + e^z} \tag{4}$$

模型中 α 为常数, β_m 为逻辑回归系数, 即代表的是滑坡灾害各致灾因子的相对贡献率。如果系数是正值, 则 $e^{\beta_m} > 1$, 表明因子和滑坡有直接的相关性; 如果系数是负值, e^{β_m} 在 1 和 0 之间, 表明因子和滑坡负相关。

3 数据处理与易发性分析

3.1 滑坡遥感解译

在缺少高分辨率卫星影像数据全覆盖的条件下, 选取 GF-4 号 2 m 全色、8 m 多光谱卫星数据(参数见下表 1)。在辐射校正、几何校正、融合匀色、裁剪等遥感影像预处理基础上, 制作研究区 GF-4 号卫星影像图(如图 1)。







表 1 GF-4 卫星参数
Tab. 1 GF-4 satellite parameters

有效载荷	波段	光谱范围(μm)	空间分辨率(m)	幅宽	侧摆能力	重访周期
全色、多光谱相机	全色	0.45 - 0.90 μm	2/8	62 km $\pm 25^\circ$	4 天	
	蓝	0.45 - 0.52 μm				
	绿	0.52 - 0.59 μm				
	红	0.63 - 0.69 μm				

根据野外地质调查数据, 进行研究区滑坡遥感目视解译, 识别滑坡灾害类型、边界、主滑方向, 结合 DEM 数据, 测量前后缘高程, 估算面积、坡度和坡向等, 建立解译标志(表 2), 并将解译结果与卫星影像数据叠加, 完成研究区滑坡编录。在研究区一共解译滑坡 61 处, 选取 36 处滑坡所含像元进行模型样本采集, 25 处进行模型验证, 滑坡灾害分布见图 1。

表 2 遥感解译标志

Tab. 2 Remote sensing interpretation signs of geological hazards

序号	类型	影像特征	纹理	色调	解译标志	实地照片
1	滑坡	平面形态标志主要有弧形、椅形、马蹄形、新月形、梨形、漏斗形、葫芦形、舌形和圆滑的三角状轮廓等各种形态; 线性影像清晰, 滑坡体后壁有坎, 坎处呈暗色调;	细腻	滑坡体色泽为浅色调、灰白色、青白色 (B321 合成)		
2	泥石流	平面形态多呈锥形、扇形、蝌蚪形; 多在冲沟中发育, 颜色较周围明显浅, 有流态, 发育放射状沟	细腻	色泽为浅色调, 灰白色、青白色 (B321 合成)		
3	崩塌	呈直线延伸, 陡崖一侧阴影发育, 崩塌规模一般较小。	斑点状	崩塌陡崖颜色灰暗, 与周围不一致 (B321 合成)		

通过重采样 将滑坡数据整理成 30 × 30 m/pixel 栅格图层。

3.2 影响因子分析与提取

(1) 岩石类型

地质岩组因子与滑坡灾害产生的关系极为密切^[20]。岩石的矿物成分、结构构造、胶结程度决定了其抗分化能力的强弱及松散物质的丰富程度。本文依靠单轴抗压强度(UCS) 对于地质岩组特性进行分级(如图 3) 。将含有泥岩、页岩、千枚岩、蛇绿岩等软岩的岩组划分为软岩组 ,花岗岩、闪长岩等划分为硬岩组 ,白云岩、石灰岩、砂板岩等划分为次硬岩组 ,第四系及单轴抗压强度小于 5 MPa 的极软岩(含未成岩) ,划分为极软岩组 ,将整个研究区划分为五个等级 极软岩、软岩、较软岩、较硬岩和硬岩 ,面积百分比分别为: 15. 94%、24. 44%、7. 04%、35. 10%、17. 48% ,其中地层与岩石类型对应关系见表 3。

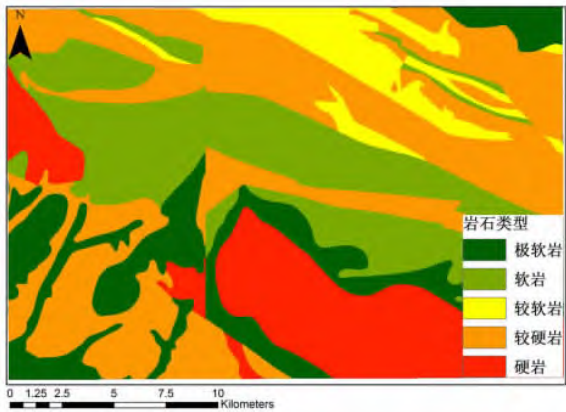


图 3 岩石类型图

Fig. 3 Rock types

(2) 构造断裂密度

构造断裂密度以单位面积内所包含的断层线的总长度来计算 ,本文按单位面积 1 × 1 km² 进行统计。将构造断裂密度图划分为五个级别(见图 4) ,级别越高 则构造断裂越发育。结合频率比分析结果(表 4) ,研究区滑坡灾害与地质构造断层密度密切相关。计算公式如下:

$$D = \sum L / \sum A \tag{5}$$

式中 ,D 为断裂密度; $\sum L$ 为单位面积内断裂总长度; $\sum A$ 为单位面积。

(3) 植被指数

表 3 岩石类型分级表

Tab. 3 Rock types

硬度等级	类型	地层岩性
1	极软	上更新统风积层、湖积层 ,全新统冲积物、洪积物 ,中更新统冰碛层
2	软	风沟组、呼独克达坂组砂岩、泥质页岩 ,上新统砂质泥岩、砂岩、砂砾岩夹灰色钙质砂岩和砾岩
3	较软	凯拉克提群碎屑岩夹冰川碎屑沉积 ,塔勒基河组沉积岩
4	较硬	开尔塔斯群碳酸盐岩夹少量碎屑岩 ,新二台组灰岩 ,寒武统碳酸盐岩和碎屑岩 ,尼勒克河组酸性、中酸性火山碎屑岩 ,脑盖吐组、奥依曼布拉克组砂岩、砾岩夹灰岩 ,昌吉河群砾岩
5	硬	华力西中期第二侵入次二长花岗岩、花岗闪长岩

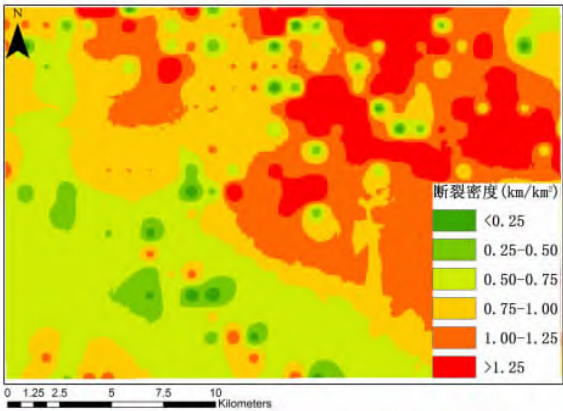


图 4 断裂密度图

Fig. 4 Fracture density

植被发育状况对地质灾害的发育和滑坡的稳定性具有很大的影响 ,归一化植被指数(NDVI) 能够很好地反映植物生长状态以及植被空间分布密度 ,与植物覆盖分布密度呈线性相关^[21]。计算公式为:

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R) \tag{6}$$

IR: 近红外波段 ,R: 红外波段 ,R 代表 GF-1 影像第三通道的反射值; IR 代表 GF-1 影像第四通道的反射值。NDVI 的值在 -1 到 1 之间变化 ,其中 ,小于 0 表示水域或冰雪覆盖 ,大于 0 表示植被覆盖 ,NDVI 值越大 植被分布密度越高 ,见图 5。研究区植被指数在负值及 0 值附近 ,FR = 13. 26 ,表明在高山积雪区及裸地 ,易发生地质灾害 ,而在植被指数较高区域 ,滑坡影响不明显。

表 4 致灾因子频率比法分析结果

Tab. 4 Results of hazard frequency ratio analysis

因子	类别	Si	Si/S	Ni	Ni/N	FR
岩石类型	极软岩	84 667	0.16	316	0.26	1.62
	软岩	129 837	0.24	535	0.44	1.79
	较软岩	37 390	0.07	100	0.08	1.16
	较硬岩	186 477	0.35	240	0.20	0.56
	硬岩	92 857	0.17	35	0.03	0.16
断层密度	<0.25	3 380	0.01	0	0.00	0.00
	0.25-0.50	21 693	0.04	23	0.02	0.45
	0.50-0.75	150 413	0.28	450	0.36	1.28
	1.00-1.25	149 524	0.28	435	0.35	1.25
	>1.25	141 257	0.27	163	0.13	0.49
植被指数	<0	21 807	0.04	675	0.54	13.26
	0-0.3	233 433	0.44	422	0.34	0.77
	0.3-0.5	268 252	0.50	143	0.12	0.23
	0.5-0.7	6 985	0.01	0	0.00	0.00
	0.7-1.0	768	0.00	0	0.00	0.00
坡度	<5	29 231	0.05	48	0.04	0.71
	5-10	14 257	0.03	26	0.02	0.79
	10-15	21 859	0.04	29	0.02	0.58
	15-20	36 469	0.07	53	0.04	0.63
	20-25	58 293	0.11	97	0.08	0.72
	25-30	82 158	0.15	164	0.13	0.87
	30-35	94 678	0.18	208	0.17	0.96
	35-40	83 702	0.16	221	0.18	1.15
	40-45	54 743	0.10	140	0.11	1.11
	45-50	28 991	0.05	103	0.08	1.55
	50-55	14 641	0.03	72	0.06	2.14
	55-90	12 526	0.02	60	0.05	2.09
坡向	平地	18 338	0.03	26	0.02	0.61
	北	57 742	0.11	11	0.01	0.08
	东北	53 659	0.10	33	0.03	0.26
	东	54 889	0.10	97	0.08	0.76
	东南	64 888	0.12	316	0.26	2.09
	南	71 782	0.14	462	0.37	2.76
	西南	76 467	0.14	203	0.16	1.14
	西	71 361	0.13	65	0.05	0.39
	西北	62 205	0.12	26	0.02	0.18
高程	<1 500	69 685	0.13	180	0.15	1.11
	1 500-2 000	175 867	0.33	751	0.61	1.84
	2 000-2 500	194 293	0.37	305	0.25	0.67
	2 500-3 000	89 078	0.17	0	0.00	0.00
	>3 000	2 323	0.00	0	0.00	0.00

(注: FR 表示频率比; Ni 表示在某类条件下灾害的像元数; N 表示灾害的总像元数; Si 表示某类条件下地质灾害所占的总像元数; S 表示该区域内图层的总像元数)

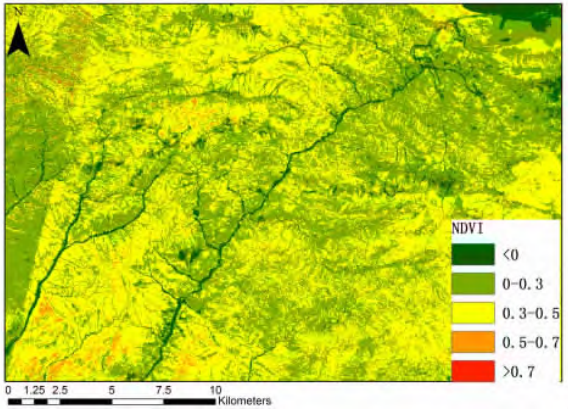


图 5 NDVI 分布图

Fig. 5 NDVI classification

(4) 坡度

坡度作为一个重要的地形条件对滑坡的稳定性有重要的影响。一般情况下,坡体坡度越缓越有利于滑坡的稳定。根据研究区 1:25 000 原始等高线生成 DEM,在 ArcGIS 软件中生成坡度图,并转换成 30×30 m 规则网格单元,如图 6 所示。研究区坡度在 >35 度区间内 FR>1,滑坡风险呈现上升趋势。

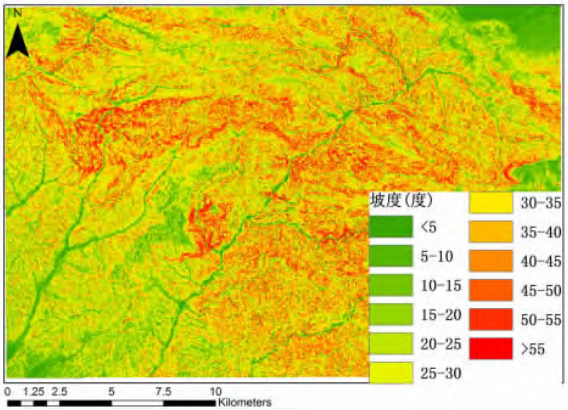


图 6 坡度

Fig. 6 Slope

(5) 坡向

山坡倾向通过影响山坡的水热和气候对滑坡产生间接影响浅层滑坡,通常情况下背面山坡一般具有较高的湿度和较丰富的植被覆盖,可保护土壤免受侵蚀^[22]。坡向图见图 7。

(6) 高程

高程影响地下潜土层分布、坡体内应力值大小以及植被种类、发育程度,从而影响边坡稳定。高程分布见图 8,在小于 2 000 m 海拔范围内,FR>1,大于 2 000 m 海拔范围内,FR<1。

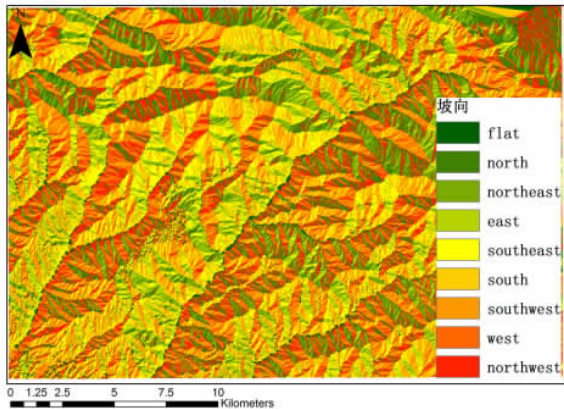


图 7 坡向

Fig. 7 Aspect

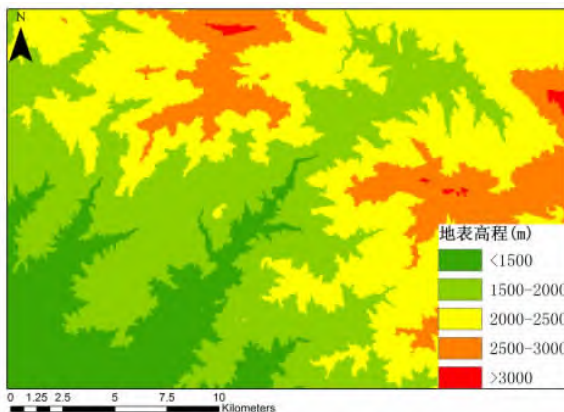


图 8 地表高程

Fig. 8 Surface elevation

3.3 地质灾害易发性分析与验证

(1) 指标筛选

利用公式 1 ,分析因子类型或范围的频率比。各因子与滑坡的关系计算 ,如下表 4 所示。分析表明 ,岩石类型、断层密度、植被指数、坡度、坡向、高程 6 个因子都与研究滑坡灾害密切相关。

(2) 模型计算

在评估因子图层以及滑坡分布栅格图层 P(像元值 P =0 表示非滑坡、P =1 代表滑坡) 叠加而成的 30* 30 m 网格中(指标因子分类见表 4) ,选取5 168 个滑坡样本、9 993 个非滑坡样本 ,代入 SPSS20 平台 Regression-> Binary Logistic 模块 ,参数见下表 5 ,进行计算 ,得到二元 Logistic 回归模型变量参数见表 6。

(3) 灾害风险区划

依据上表 4 变量参数 ,代入公式 3 求得:

$$Z=4.682-0.345\times\text{岩石类型}-0.111\times\text{断层密度}-1.482\times\text{植被指数}+0.023\times\text{坡度}-0.068\times\text{坡向}-0.635\times\text{高程}$$

然后依据公式 4 ,利用 ArcGIS Raster Calculator 计算工具 ,得到研究区各像素点 P 值 ,并分类 ,得到研究区滑坡灾害易发性风险等级区划图 ,如下图 9:

(4) 模型验证

回归分析表明 ,平均正确分类百分比为 79.5% ,

表 5 模型参数设置

Tab. 5 Model parameter settings

Dependent	Covariates	Method	Probability for Stepwise		Classification cutoff
P	岩石类型、断层密度、植被指数、坡度、坡向、高程	Enter	Entry = 0. 05	Removal = 0. 10	0. 5

表 6 二元 Logistic 回归模型变量参数

Tab. 6 Coefficients of binary logistic regression model

	B	S. E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C. I. for EXP(B)	
							Lower	Upper
岩石类型	-. 345	. 016	444. 680	1	. 000	. 708	. 686	. 731
断层密度	-. 111	. 020	30. 303	1	. 000	. 895	. 860	. 931
植被指数	-1. 482	. 033	2 071. 970	1	. 000	. 227	. 213	. 242
坡度	. 023	. 008	8. 126	1	. 004	1. 024	1. 007	1. 040
坡向	. 068	. 011	41. 172	1	. 000	1. 071	1. 049	1. 093
高程	-. 635	. 029	470. 987	1	. 000	. 530	. 500	. 561
Constant	4. 682	. 137	1 173. 904	1	. 000	107. 952	. 686	. 731

(注: Constant: 回归常数 α; B: 回归系数; S. E: 标准差; Wald: Wald 卡方值; Df: 自由度; Sig.: 显著性; 95. 0% C. I. for EXP(B) : 置信区间)

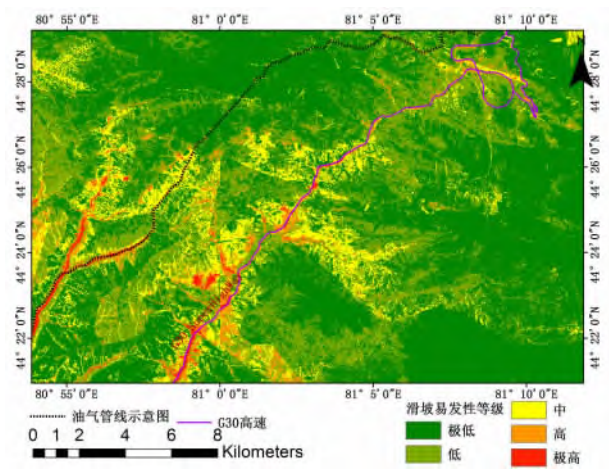


图 9 滑坡灾害易发性风险等级区划图

Fig. 9 Susceptibility zoning of landslide hazards and risk map

回归模型分类交叉表见表 7。HosmerLemeshow 试验表明,显著性值(Sig.) 大于 0. 05 ,拟合方程的拟合优度是可接受的。Cox & Snell R Square、Nagelkerke R Square 衡量模型的关联强度 ,其值表明独立变量可以解释因变量(见表 8) 。

表 7 回归模型分类交叉表

Tab. 7 Classification summary of model

观测值	预测值			
	P		P 正确率	
	0	1		
P	0	9 007	986	90. 1
	1	2 117	3 051	50. 9
总百分率				79. 5

表 8 模型汇总表

Tab. 8 Summary of logistic regression model

参数	值
-2 Log likelihood	13 415. 395a
Cox & Snell R Square	0. 517
Nagelkerke R Square	0. 455
Chi-square	703. 991
df	8
Sig.	0. 000

结合 SPSS20 平台二元逻辑回归模型分析结果 , 选取 Predicted probability(PRE) 与实际值 P 进行 ROC 分析 ,得到结果如下图 10 ,AUC 为 0. 844 表明 ,该模型预测值一定准确性^[23]。

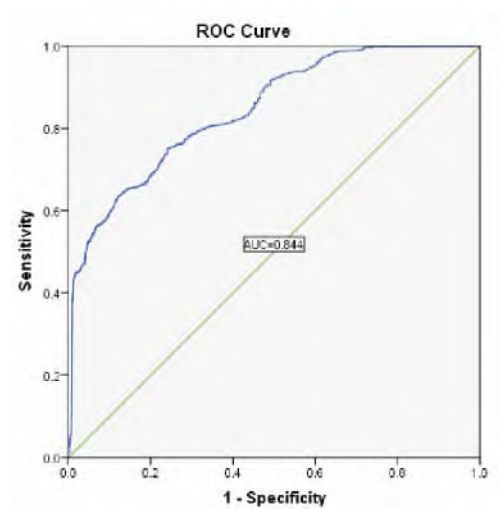


图 10 ROC 曲线

Fig. 10 ROC curve

(5) 结果分析

基于 LRM 模型结果(图 9) 结合研究区地形图及 GF-1 号卫星影像图(图 1) ,可以看出:

(1) 研究区地势总体上自东北向西南倾斜 ,中部海拔高 ,且有积雪 ,东北方向靠近赛里木湖 ,西南方向临近霍城县 ,因此 ,受融雪性洪水影响 ,在东北和西南方向地质灾害风险较高 ,但在花岗岩、闪长岩的侵入岩分布密集的区域 ,地质灾害易发性风险较低。

(2) 研究区内的地层岩性、构造断层密度、坡度、坡向、地表高程、植被指数 6 个因子均与滑坡易发性相关 ,地层岩性、断裂构造密度、植被指数、高程与滑坡易发性呈负相关关系 ,而坡度、坡向与滑坡易发性正相关。植被因素 FR 值最高(如表 4) ,LRM 模型分析表明 ,研究区植被指数与滑坡呈负相关性 ,在植被指数较高区域 ,FR 值 > 1 ,充分证明植被具有保持水土、稳固边坡的作用。

(3) 山顶碳酸岩(灰岩) 占比较大 ,属于较硬岩体 ,但是该区域岩石易受冻融、融雪性洪水等外界条件影响而风化 ,形成滑坡及碎石流 ,随沟谷而下 ,造成中低海拔区边坡不稳定 ,影响人畜安全。

(4) 结合实地野外调查数据表明 ,57% 滑坡与道路距离小于 2 km ,说明在修筑道路、开采矿山等活动中 ,破坏山体结构、损毁林木 ,造成了边坡的不稳定。研究区内的滑坡灾害主要沿 G30 高速公路、输气管道及周围山区沟谷密集的区域分布 ,这与该区域内植被人为破坏、覆盖度低、断层密度大、软岩体分布密集、地形切割大密切相关。

4 结论

本文利用国产 GF-1 号卫星影像数据进行新疆果子沟区域滑坡遥感解译,结合野外地质调查数据,基于频率比、二元 Logistic 回归模型实现了该区域内滑坡风险易发性分析与区划,并对结果进行了有效性进行验证。研究表明,历史滑坡灾害的发生率随着滑坡易发性风险等级的递增而显著提高,该模型在本研究区应用效果良好。因此,本文所用方法及研究结果,可以为研究区重大线型工程保护、边坡加固提供辅助决策支持。

参考文献(References)

- [1] 王亚春. 西气东输二线果子沟段自然灾害分析与风险评价[J]. 石油和化工设备, 2015(01): 26 - 28 [WANG Yachun, Assessment of natural disaster and risk analysis of second tier Guozigou segment of the west east gas pipeline [J]. Petro & Chemical Equipment, 2015(01): 26 - 28]
- [2] 陈亚宁, 李卫红. 新疆干旱区地质灾害区划与减灾对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995(4): 75 - 80 [CHEN Yaning, Li Weihong. Regionalization of geological hazards and Countermeasures of disaster reduction in arid area of Xinjiang [J]. Journal of geological hazards and control in China, 1995(4): 75 - 80].
- [3] HUANG Runqiu. Study on the mechanism of typical rock landslide in the west of China [J]. Advance in Earth, 2003, 23(3): 443 - 450.
- [4] 杨发相, 岳健, 韩志强. 新疆公路自然灾害及对策[J]. 山地学报, 2006, 24(4): 424 - 430 [YANG Faxiang, YUE Jian, HAN Zhiqiang. The natural disasters in Xinjiang and Countermeasures [J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(4): 424 - 430]
- [5] 望远福, 蒲荣泽, 王晓磊. 国道 312 线果子沟段滑坡体的岩土勘察及治理研究[J]. 有色金属矿产与勘查; 岩土工程界, 2004(06): 74 - 78 [WANG Yuanfu, PU Rongze, WANG Xiaolei. Study on the rock and soil exploration and treatment of the landslide in the 312 line of national highway [J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 2004(06): 74 - 78]
- [6] 成永刚. 近二十年来国内滑坡研究的现状及动态[J]. 地质灾害与环境保护, 2003, 14(4): 1 - 5 [CHENG Yonggang. Current situation and developments of landslide study in china in recent twenty years [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2003, 14(4): 1 - 5].
- [7] 成永刚, 王玉峰. 我国各省份滑坡贡献率研究[J]. 铁道工程学报, 2012, 29(11): 5 - 10 [CHENG Yonggang, WANG Yufeng. Study on contribution rate of landslide intensity of each province in china [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2012, 29(11): 5 - 10].
- [8] 苏风环, 崔鹏, 张建强, 甘国兵. 芦山地震重灾区崩塌滑坡易发性评价[J]. 山地学报, 2013, 31(4): 502 - 509 [SU Fenghuan, CUI Peng, ZHANG Jianqiang, GAN Guobing. Rockfall and landslide susceptibility assessment in Lushan earthquake region [J]. Mountain Research, 2013, 31(4): 502 - 509.].
- [9] 田述军, 孔纪名. 基于斜坡单元和公路功能的滑坡风险评价. 山地学报, 2013, 31(5): 580 - 587 [TIAN Shujun, KONG Jiming. Risk assessment of landslide based on slope unit and highway function. Journal of Mountain Research, 2013, 31(5): 580 - 587]
- [10] AKGUN A., DAG S., BULUT F. Landslide susceptibility mapping for a landslide prone area(Findikli, NE of Turkey) by likelihood frequency ratio and weighted linear combination models [J]. Environmental Geology, 2008, 54(6): 1127 - 1143.
- [11] AKGUN A. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at Äzmir, Turkey [J]. Landslides, 2012, 9(9): 93 - 106.
- [12] OZDEMIR A. Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS [J]. Environmental Geology, 2009, 57(7): 1675 - 1686.
- [13] OZDEMIR A., ALTURAL T. A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2013, 64: 180 - 197.
- [14] LEE S., PRADHAN B. Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia [J]. Journal of Earth System Science, 2006, 115(6): 661 - 672.
- [15] LEE S., SAMBATH T. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romelarea, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models [J]. Environmental Geology, 2006, 50(6): 847 - 855.
- [16] RUPERT M. G., CANNON S. H., GARTNER J. E., MICHAEL J. A., HEISEL D. R. 2008. Using logistic regression to predict the probability of debris flows in areas burned by wildfires, Southern California 2003 - 2006 [R]. USGS Open File Report-1370 (16 pp.).
- [17] TRIGILA Alessandro, IADANZA Carla, ESPOSITO Carlo, et al. Comparison of logistic regression and random forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in giampilieri (nesicily, italy) [J]. Geomorphology, 2015, 249: 119 - 136.
- [18] PRADHAN B., LEE S. Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression and artificial neural network models [J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 60(5): 1037 - 1054.
- [19] AYALEW L., YAMAGISHI H. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan [J]. Geomorphology, 2005, 65(1-2): 15 - 31.
- [20] COSTANZO D., ROTIGLIANO E., IRIGARAY C., JIMENEZ-PERÁLVAREZ J. D., CHACÓN J. Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the GIS matrix method: application to the river Beiro basin (Spain) [J]. Natural Hazards & Earth System Sciences, 2012, 12(2): 327 - 340.

- [21] 孙红雨,李兵. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204–210 [SHUN Hongyu, LI Bing. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between ndvi and environmental factors by using NOAA time series data [J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(3): 204–210]
- [22] DAI F. C., LEE C. F. Landslide characteristics and slope instability modelling using GIS, Lantau Island, Hong Kong [J]. Geomorphology, 2002, 42(3–4): 213–228.
- [23] TIEN BUI D., PRADHAN B., LOFMAN O., REVHAUG I. Landslide susceptibility assessment in Vietnam using support vector machines, decision tree, and Naive Bayes Models [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2012(6): 15–26.

A Method to Assess Landslide Susceptibility by Using Logistic Regression Model for Guozigou Region, Xinjiang

ZHAO Liangjun¹, CHEN Donghua², LI Hu³, LIU Yufeng³

(1. School of resource and environmental science, Xinjiang University 830046;

2. Satellite applications centre of Xinjiang, Urumqi 830000; 3. Chuzhou College, Anhui, Chuzhou 239000)

Abstract: As an entrance to link Central Asia for social, economic and cultural exchanges, Xinjiang Guozigou region secure a route for transportation of oil, natural gas and other energy resources. Unfortunately, active landslide disasters along this route are endangering all aspects of local communities, including human security, local social and economic development. In the case that studies on landslide hazards relevant to this region are rarely done and have little to be achieved, it is necessary to motivate landslide susceptibility analysis and risk assessment over this area for the guidance of disaster prevention and mitigation. Based on satellite image interpretation method, this study collected 6 factors, namely rock, fault density, surface elevation, slope gradient, slope aspect, vegetation index from GF-1 images, to integrate into GIS and RS application for construction of statistical analysis model for a scientific evaluation of landslide susceptibility. Based on frequency analysis, it was aimed to evaluate sensitivity of each factor, and then binary logistic regression model was employed to analyze geohazard potentials. According to the referred analysis, landslide risk was categorized into five levels as described as very low, low, medium, high, very high. This risk zoning result was further verified by historical landslide data, and AUC 0.844 was obtained with ROC Curve test model, justifying high accuracy of our prediction. In conclusion, our proposed analysis model can be used to guide landslide control in Guozigou region of Xinjiang and it would be contributed to engineering protection of major liner engineering at similar geo-environment circumstances.

Key words: RS; landslides; frequency ratio; logistic regression models; susceptibility