

基于概率指数模型的区域滑坡危险性评价

李家存^{1),2)} 李京^{2),3)} Jasmi⁴⁾

¹⁾(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

²⁾(首都师范大学三维空间信息获取与应用教育部重点实验室, 北京 100037)

³⁾(北京师范大学, 北京 100875) ⁴⁾(马来西亚遥感中心, 吉隆坡)

摘要 影响滑坡的因子很多,区域滑坡危险性因子的确定是治理滑坡的关键。以马来西亚金马仑高原作为研究区,选取岩性、地形、地貌、道路、土地利用等环境因子,在GIS平台上运用双变量统计方法,分析了滑坡与各环境因子之间的关系,根据滑坡面积密度建立了概率指数评价模型,进行了研究区滑坡危险性评价,结果表明,此模型具有较好的评价精度。

关键词 概率指数评价模型 滑坡危险性评价 金马仑高原 GIS

中国法分类号: TP792 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)08-1471-05

Regional Landslide Susceptibility Assessment Based on Probability Index Model

LI Jia-cun^{1),2)}, LI Jing^{2),3)}, Jasmi⁴⁾

¹⁾(Institute of Remote Sensing and Application, CAS, Beijing 100101)

²⁾(Key Laboratory of 3D Information Acquisition and Application of MOE, Capital Normal University, Beijing 100037)

³⁾(Beijing Normal University, Beijing 100875) ⁴⁾(Malaysia Center for Remote Sensing, Kulua Lumpur)

Abstract There are many factors which contribute to landslides occurrence. To confirm the regional landslide susceptibility factors is the key for landslide harnessing. The Cameron Highlands of Malaysia was selected as the study area. Bivariate statistical analysis method was used with GIS software to analyze the relationships between landslides and environmental factors (such as lithology, geomorphy, elevation, road, landuse, etc.). Then, Probability Index Model was developed with Landslide Area Density. And the assessment of landslide susceptibility of Cameron Highlands was performed. The result shows that it has high prediction precision.

Keywords probability index model, region landslide susceptibility assessment, cameron highlands, GIS

1 引言

滑坡是仅次于地震和洪水的三大自然灾害之一,它常常摧毁建筑,堵塞交通,造成人员伤亡,给生态环境和工程建设带来严重危害,每年都造成巨大损失。滑坡的发育与分布是各种环境因素作用下的产物^[1],随着人类工程活动规模和范围的日益扩大,人类活动也愈来愈成为滑坡发生的重要诱因

素。有统计资料表明,滑坡灾害中有50%以上是由于人类活动对自然斜坡不适当的扰动而造成的。

滑坡的发生往往是在一定条件下,在很多点上同时或相继发生,当所有这些滑坡对区域内部的人类生产生活造成的危害和威胁足以严重影响当地社会与经济发展时,便可以认为这些滑坡地质灾害具有区域性的特点,这种滑坡地质灾害便可被称为区域滑坡地质灾害。那么在一定时期内,给定区域在一定条件下发生滑坡灾害的可能性,就称为区域滑坡的危险性。

基金项目:中国和马来西亚政府间国际合作项目(2002AA130020)

收稿日期:2007-03-28;改回日期:2007-05-08

第一作者简介:李家存(1974~),男,讲师。2007年于中国科学院遥感应用研究所获地图学与地理信息系统专业博士学位。主要从事遥感与GIS建模等研究工作。E-mail:lijiacun@163.com

对区域滑坡的危险性进行科学的评价,为工程建设和区域规划提供科学的决策依据是非常必要的。

统计分析方法常用来进行区域滑坡危险性评价,并在世界很多地方有成功的案例,如:单等人运用统计方法和 GIS 相结合,进行了香港的区域滑坡危险性预测研究^[2];Brabb 等人分析了滑坡和各个环境因子(如降雨、地形、地貌、土壤、植被、岩性、构造等)之间关系^[3,4];Mehmet 等人在土耳其的 Asarsuyu Catchment 用了双变量和多变量统计方法,计算各因子对滑坡的影响,制作了区域滑坡危险性分布图^[5]。本文以 GIS 为工具,以马来西亚金马仑高原为研究区(图 1),在分析滑坡与各环境因子之间关系的基础上,建立基于双变量统计分析方法的区域滑坡危险性评价模型,并对评价模型进行客观评价。研究表明,结合空间技术,利用概率指数对各个因子进行危险性分析成为可能。

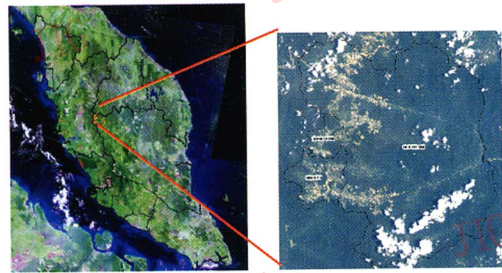


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Locate map of study area

2 研究区概况

金马仑高原(Cameron highlands)(北纬 4°24′~4°28′,东经 101°20′~101°26′)座落于马来半岛彭亨州的西北角,森林覆盖高达 86%,有着“绿色盆地”之称,总人口数大约 25 000 人,其中大多数以经营农业与旅游业为生。金马仑高原土壤侵蚀严重,滑坡灾害频繁发生,是马来西亚滑坡灾害的重灾区。金马仑高原的滑坡类型比较单一,主要以松散层滑坡为主。

3 研究方法

数学的统计分析方法经常应用于区域灾害危险性评价,主要通过历史灾害分布数据和各因子数据

的叠加分析,最终确定各因子的权重。GIS 具有强大的空间分析功能,能够为因子的分析和模型的运行提供强有力的支持。本次研究采用了双变量分析方法,以 GIS 为平台,在分析滑坡发生概率的基础上,建立概率指数评价模型。概率指数模型进行区域滑坡危险性评价的一般流程如下:

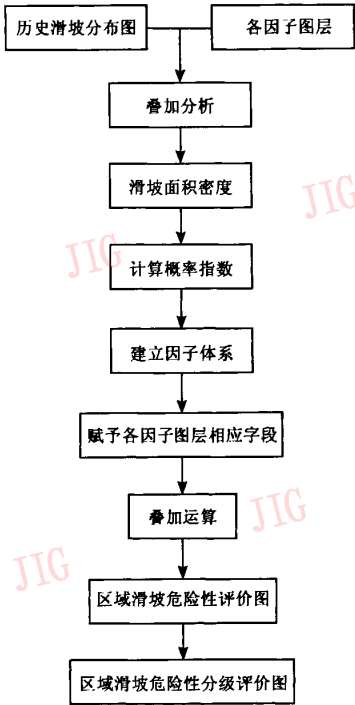


图 2 区域滑坡危险性评价模型流程图

Fig. 2 The flow of regional landslide susceptibility assessment model

在没有任何条件下,区域中某点发生滑坡的概率可以由下面的公式计算得到:

$$P\{S\} = \frac{N(S)}{N(T)} \tag{1}$$

其中, $N(S)$ 是区域地图中滑坡所占的像元个数, $N(T)$ 是区域地图中像元总数。

那么,在区域内某一因子 B 中,发生滑坡的概率就可以由式(1)推导得到:

$$P\{S|B\} = \frac{P\{S \cap B\}}{P\{B\}} = \frac{N\{S \cap B\}}{N\{B\}} \tag{2}$$

其中, $N\{S \cap B\}$ 是区域内因子 B 中发生滑坡的像元个数, $N\{B\}$ 是区域内因子 B 的像元个数。

在式(2)的基础上计算滑坡面积密度,所谓滑坡面积密度是指某一因子 B 单位面积里发生的滑

坡的面积,可由下式计算^[6]:

$$D(B) = \frac{A(S \cap B)}{A(B)} \quad (3)$$

其中, $A(S \cap B)$ 是因子 B 发生滑坡的面积; $A(B)$ 是因子 B 的面积。

将同一类型的环境因子(如:堆积坡地、洪积平原等)归为一个因子类(如:地貌),以滑坡面积密度作为参数,通过下式得到概率指数

$$GW(B) = \frac{D(B)}{\text{Max}(D(1), (D(2)) \cdots (D(m)))} \quad (4)$$

概率指数是指将某一因子类 $\{B\}$ 中,滑坡面积密度最大的因子发生滑坡的概率设定为 100%,那么因子 B 发生滑坡的概率由式(4)算出。

概率指数模型中,各因子类对滑坡发生的最大贡献是一样的(即 100%),它考虑了同一因子类中,不同因子对滑坡的相对影响程度,而没有考虑不同因子类对滑坡的影响,即没有考虑优势影响因子类。

4 研究区数据收集和整理

整个研究区面积约为 684 km^2 ,研究收集了金马仑高原的等高线、高程点、地貌、土地利用、岩性、道路、线性构造和历史滑坡等数据,资料比例尺均在 $1:50\,000 \sim 1:100\,000$ 之间。数据经过预处理后,统一转换为 UTM 投影的 Arcinfo GRID 栅格格式,采用

(1) 9 个因子。

(2) 地貌 地貌共分为堆积麓坡等 12 种不同的类型。

(3) 线性构造 线性构造数据主要来自地质图和 SAR 影像解译,为了分析滑坡与线性构造的关系,建立了以 50m 宽为间隔的缓冲区(0~50m, 50~100m, 100~150m, 150~200m, 200~250m)。

(4) 道路 道路数据来自于地形图,根据分析的需要,建立 5 个缓冲区(0~50m, 50~100m, 100~150m, 150~200m, 200~250m)。

(5) 土地利用 分为城镇、园地、森林等 9 种类型。

(6) 历史滑坡 共收集了历史上 336 个滑坡,主要从多期遥感影像解译并经野外验证得到。

从野外调查分析来看,金马仑高原的滑坡主要以小规模的土层崩塌为主,因此,道路和线性构造的缓冲区范围均为 0~250m,大于 250m 的地方基本

上不受道路和线性构造的影响。

5 环境因子分析

图层叠加和地理统计分析是在 ArcGIS 中完成的,通过计算各因子的滑坡面积密度,用式(4)得到各因子的概率指数,根据滑坡面积密度分析各个环境因子与滑坡之间的相关性,从 63 个因子中剔除了一些相关性较差的因子,最终保留了 43 个因子作为最佳因子集。

(1) 线性构造与滑坡的关系

如图 3 所示,在总宽 250m 的缓冲区内的滑坡占滑坡总面积的 49%,研究区的滑坡面积密度为 3.57‰,缓冲区内平均滑坡面积密度为 4.34‰,说明在研究区内,滑坡受线性构造的影响不明显,这与本区滑坡的类型有关。因此,没有选择线性构造作为影响因子类。

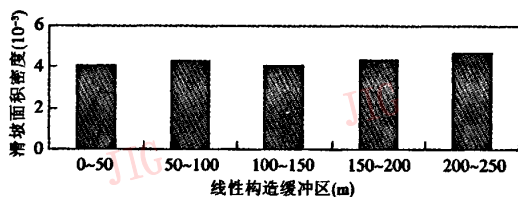


图3 线性构造因子类中各因子的滑坡面积密度

Fig.3 Landslide area density of factors in structure

(2) 坡度与滑坡的关系

如图 4 所示,滑坡分布在坡度 $10^\circ \sim 20^\circ$ 密度最大,而在 $20^\circ \sim 30^\circ$ 数量最多,从野外来看,坡度 $10^\circ \sim 30^\circ$ 的区域,农业开发的程度也较高。

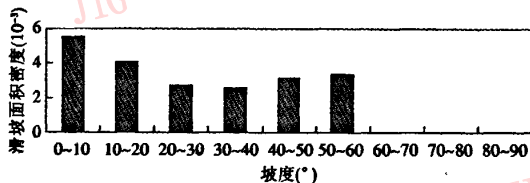


图4 坡度因子类中各因子的滑坡面积密度

Fig.4 Landslide area density of factors in slope

(3) 道路与滑坡的关系

如图 5 所示,总宽 250m 的道路缓冲区仅占研究区 17% 的面积,但滑坡面积占滑坡总面积的 86%,平均滑坡面积密度高达 20‰。说明道路是影响滑坡发生的一个主要因素。

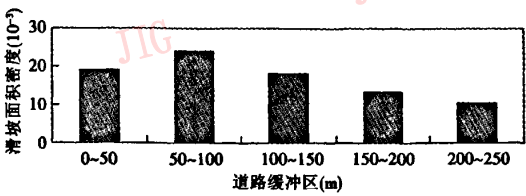


图 5 道路因子类中各因子的滑坡面积密度
Fig. 5 Landslide area density of factors in road

(4) 土地利用与滑坡的关系

如图 6 所示,在果园、城镇、园地、人工草地、茶园/咖啡园等开发用地中平均滑坡密度达 19‰,而在灌木、草地和森林覆盖区则只有平均 1.5‰滑坡密度。

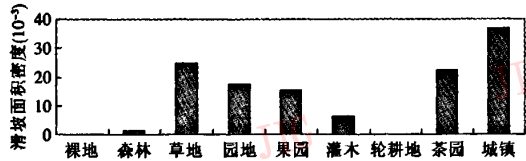


图 6 土地利用因子类中各因子的滑坡面积密度
Fig. 6 Landslide area density of factors in landuse

(5) 岩性与滑坡的关系

如图 7 所示,变质岩分布面积仅占研究区总 3%左右,有少量滑坡发生;面积占研究区 96%的中-粗粒黑云母花岗岩,滑坡密度也很小;在中-细粒花岗岩中,有较大的滑坡密度。

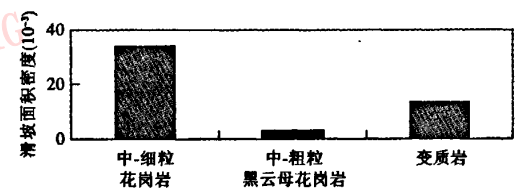


图 7 岩性因子类中各因子的滑坡面积密度
Fig. 7 Landslide area density of factors in lithology

(6) 地貌与滑坡的关系

如图 8 所示,在堆积麓坡、活动洪积平原、切割

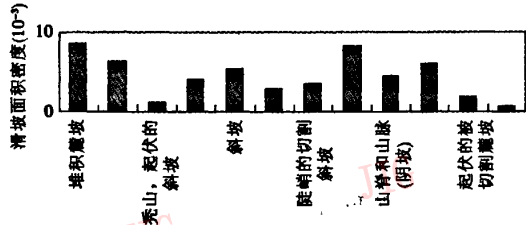


图 8 地貌因子类中各因子的滑坡面积密度
Fig. 8 Landslide area density of factors in geomorphy

坡地等地貌单元有较高的滑坡密度,说明堆积物发育的地区是滑坡的主要发生地之一。

(7) 地形高度与滑坡的关系

如图 9 所示,地形高度在 1400 ~ 1900m 范围是滑坡主要发育区,峰值出现在 1800 ~ 1900m。

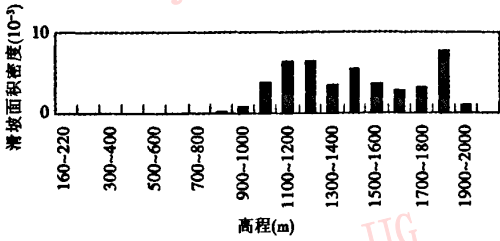


图 9 地形高度因子类中各因子的滑坡面积密度
Fig. 9 Landslide area density of factors in elevation

通过以上分析表明,道路和已开发利用土地有比较高的滑坡密度,说明研究区滑坡的发生深受道路建设和土地开发等人类活动的影响,这也与野外考察的结果相符。

6 概率指数模型建立与评价

根据计算出来的因子概率指数数据,建立危险性评价方程为

$$S = 100B_1 + 73.52B_2 + \dots + 12.27B_{43} \quad (5)$$

在 Arcgis 平台中,根据式(5),将所有相关因子图层进行叠加运算,得到区域滑坡危险性评价图,信息量值越大,表明对滑坡发生的贡献率越大,即危险性越大。为了便于区分危险程度,对危险性分布图进行重新分类,以区别出不同的滑坡危险等级。研究中以区域滑坡危险性分布图的均值为中心点,根据 +1 和 -0.5 个标准差,将区域滑坡危险性分为非常低、低、高、非常高 4 类(如图 10),并根据评价结果对模型进行评价(表 1)。

表 1 概率指数模型计算结果

Tab. 1 The calculation results of probability index model

危险性	滑坡面积/滑坡 总面积(%)	危险区面积/ 总面积(%)	滑坡面积密度 (‰)
极低	0.29	32.10	0.03
低	1.64	25.97	0.22
高	14.63	26.80	1.95
极高	83.44	15.13	19.68

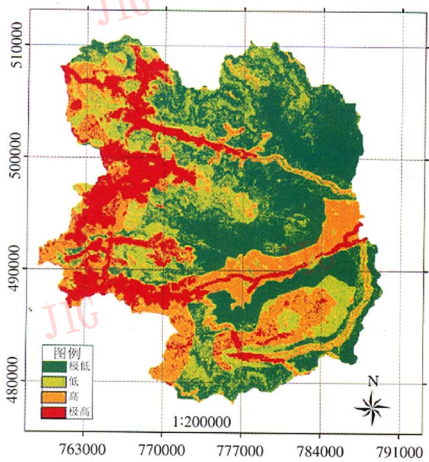


图 10 金马仑高原滑坡危险性评价图

Fig. 10 The regional landslide susceptibility assessment map of Cameron highlands

由表 1 可以看出,在危险性极高的区域,概率指数模型以占全区 15.13% 面积,集中了 83.44% 滑坡面积,滑坡面积密度高达 19.68‰,以较小的面积概括了绝大部分的滑坡发生区域,有较高的评价精度,可以说是比较成功的。

7 结 论

马来西亚热带雨林地区,植被覆盖率非常高,滑坡的发生主要是受道路建设和土地开发利用等人类活动的影响。从图 10 中也可以看出,研究区西部是

主要的危险区,也是人类活动强烈的地区,东部主要为原始热带雨林,危险性较低。实践结果表明,以 GIS 为工具,基于统计分析方法的概率指数模型在滑坡类型比较单一的热带雨林地区具有较好的评价精度,具有极大的应用和推广潜力。

致 谢 文中的资料由马来西亚遥感中心提供,并得到马来西亚科技园同行的支持,在此深表感谢。

参考文献 (References)

- 1 Bai Yun-feng, Zhou De-pei. Relationship of the landslide distribution and its environment[J]. Journal of Jiaozuo Institute of Technology, 2003, 22(5): 36 ~ 39. [白云峰,周德培. 滑坡分布与环境的关系浅析[J]. 焦作工学院学报(自然科学版), 2003, 22(5): 36 ~ 39.]
- 2 Shan Xin-jian, Ye Hong, Li Chao-fen, et al. Prediction method of dangerous areas of regional landslide based on GIS and its application [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(10): 1507 ~ 1514. [单新建,叶洪,李焯芬等. 基于 GIS 的区域滑坡危险性预测方法与初步应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(10): 1507 ~ 1514.]
- 3 Brabb E E. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping [A]. In: Processings 4th International Symposium on Landslides[C], Toronto, Canada, 1984, 1: 307 ~ 324.
- 4 Van Westen C J. Remote sensing and geographic information systems for geological hazard mitigation [J]. ITC-Journal, 1993, 4: 393 ~ 399.
- 5 Mehmet Lütfi Süzen, Vedat Doyuran. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate[J]. Environmental Geology, 2004, 45: 665 ~ 679.
- 6 Westen C J. The modelling of landslide hazards using GIS [J] Surveys in Geophysics, 2000, 21(2): 241 ~ 255.