

基于 GIS 的长江三峡库区滑坡影响因子分析

白世彪, 闫国年, 盛业华, 杨 一鹏

(南京师范大学地理信息科学江苏省重点实验室, 江苏 南京 210097)

摘 要: 利用 GIS 技术和统计方法, 对三峡库区选定的研究区域(面积 4 539 km²) 滑坡空间分布和地形、地质等滑坡内部因子之间相关性进行统计计算。在建立地质、地形数据库等滑坡因子空间数据库和滑坡空间分布数据库(数据比例尺均为 1: 10 000)基础上, 从地形数据库提取 25 m 分辨率 DEM, 再派生出高程、高差、坡度、坡向、平面曲率、剖面曲率等地形影响因子; 从地质数据库提取地层和岩性组合影响因子。将各个定性的因子按一定规则进行重分类、转换为 25 m 分辨率的栅格数据格式, 在 GIS 中进行地图代数运算、统计计算滑坡和各影响因子相关性。结果表明, 滑坡分布和 Q₄、J_{1x}, J_{1z}S 岩性岩组; 90 m 以下、90~ 135 m 和 135~ 175 m 三个高程带; 15~ 20 m 局部高差; 10°~ 25° 坡度; 北、南和西北方向及 - 1~ 1 曲率范围等影响因子相关性等级都大于 1, 为滑坡发生的主要影响因子类属。研究的结果是进行滑坡易发性评价的基础, 可以指导库区滑坡灾害管理、土地利用等。

关键词: 三峡库区; 滑坡; GIS; 影响因子; 统计分析

中图分类号: P642. 2

文献标识码: A

地理信息系统(GIS), 遥感(RS)和全球定位系统(GPS)等技术的迅速发展, 大大地改进或提高了地学传统的研究手段。在建立研究区域滑坡分布及各影响因子数据库的基础上, 利用 GIS 统计分析功能对数据库属性项进行统计分析, 可以得到滑坡发生频率与各影响因子之间相关性统计直方图等, 依据这些相关性等级, 则可以进行滑坡的易发性和基于统计规律的滑坡机制综合分析。国内外已经进行了大量相关的研究。Carrara 等人利用 GIS 进行了系列滑坡多要素统计分析研究^[1- 5]。Brabb^[6]以坡度为权重, 计算了 2 000 多个滑坡与 12 个因子的百分比, 最后确立了地质/土壤和坡度是影响滑坡稳定性的主要原因; Gao^[7]采用航片作为滑坡数据源, 将解译的滑坡数据层与地形数据(包括坡度、高程、坡向和坡形)进行叠加分析, 发现中等高程的北、北东向和西、北西向坡坡度陡的凹坡为滑坡易发区; Mark^[8]利用 GIS 数据库中的 1 500 个滑坡研究了浅层滑坡频度与地形的关系, 结果显示陡峭地形与滑坡具有很好的统计相关性; Larsen 和 Torres-

Sanchez^[9]对 Puerto Rico 三个典型研究区对滑坡发生频率与环境背景因子的统计分析发现坡度 > 12°、高程 > 300 m 的北东东向斜坡为易滑地质环境条件; 戴福初和李军^[10]以香港大屿山为研究区, 以 GIS 为技术支撑工具, 在开展自然滑坡风险评价时, 根据滑坡发生的空间位置自动提取滑坡发生源地的地形条件, 通过统计分析发现坡度 > 20°、高程为 100~ 500 m 的南坡为易滑地形条件; S. Lee 等^[11, 12]利用 GIS 结合遥感图像, 使用概率法、逻辑回归法和神经网络法对滑坡发生因子进行统计, 分析滑坡易发性; B. Temesgen^[13]等使用 TM 和 SPOT 图像, 利用 GIS 技术分析了衣索比亚的 DEM 数据、坡度图、坡向图、植被覆盖图和地质图, 并进行叠加处理, 从而得出滑坡危险等级图。

1 研究区域和滑坡空间数据库

1.1 研究区域的选定

本文以长江水利委员会综合勘测局提供的图件

收稿日期(Received date): 2004- 08- 11; 改回日期(Accepted): 2004- 10- 15。

基金项目(Foundation item): 国家高技术研究发展计划(863 计划, No. 2001AA135130)·[National High Technology Research and Development 863 Program of China No. 2001AA135130.]; 国家自然科学基金项目(No. 49971064) [Fund Project of National Natural Science No. 49971064]

作者简介(Biography): 白世彪(1974-), 男, 博士研究生, 主要从事 GIS 应用、虚拟地理环境和滑坡风险评价等方面的研究。E-mail: shibiao@sohu.com [Bai Shibiao, 1974- , male, doctor student, research interests includes GIS Application, Virtual Geography Environ-

的范围作为研究区域(图 1), 范围大致为三峡工程蓄水水位 175 m 回水影响的区域。数字化图面计算面积为 $4\,539\text{ km}^2$, 其中水系面积 505 km^2 。

1.2 GIS 滑坡空间数据库的建立

已有的研究通过航片解译和野外详细考察, 已经对长江三峡库区的滑坡和崩塌进行了较为系统的编目工作, 我们对已有的图件^[1]、报告、文献^[14]等资料进行了搜集和整理。对区内所有的资料进行了数字化和相关数据录入工作, 建立了滑坡因子空间数据库。对数字化得到的滑坡分布以及相关滑坡影响因子转换到统一的投影方式下, 以 25 m 分辨率的栅格形式统一存储, 再按一定的规则进行重分类。研究区格网数总计为 6 357 431, 发生滑坡的格网数为 280 470。资料类别如下:

1. 地层岩性: 图件^[1]中地层图将第四系堆积物按成因进行划分, 对库区存在的第四系以前地层划分到组, 一共分为 46 种类型。

2. 地形数据: 图件^[1]中等高线由 1: 10 000 的地形图抽取记曲线而得到, 间距为 25 m, 数字化后入库, 建立 25 m 分辨率的 DEM 及派生出其他地形因子。

3. 滑坡数据库: 对图件^[1]中 1: 10 000 库区滑坡分布图进行数字化和属性等相关数据录入, 将滑坡空间分布数据和属性数据入库。滑坡分布图包括稳定或基本稳定的古(老)滑体(1 452 个)、不稳定滑体或潜在不稳定滑体(748 个)、崩塌堆积体(738 个)三类分布图。属性数据包括滑坡体名称、距坝里程、前缘高程、后缘高程、面积、体积等。

由于篇幅所限, 这里仅给出研究区域两个局部区域的滑坡和各影响因子分布图。图 2 是研究区域局部(具体为图 1 中 A 标识位置)DEM 和滑坡分布图; 图 3 是研究区域局部(具体为图 1 中 B 标识位置)地层岩性组合和滑坡分布图。

2 滑坡影响因子分析

滑坡是岸坡的各自然环境因子变形破坏综合作用的结果, 必然与岸坡的地形、地层岩性、结构因子有关, 因此应把这几方面作为统计分析的重点。受资料的限制本文只考虑岸坡地层岩性一个地质环境要素; 通过研究区域 DEM 派生出高程、高差、坡度、

坡向、垂向曲率、水平曲率、地形因子等环境影响因子。利用 Lee, S 等^[12, 13]滑坡影响因子统计分析方法, 从滑坡和其影响因子之间的相关性分析中计算相关性等级。每一个滑坡影响因子重分类的某个类属等级大小就反应了滑坡和其影响因子某个类属的相关性, 相关性等级通过重分类的某个类属中发生滑坡的格网数和不发生滑坡的格网数的比值计算得到。由相关性等级的计算过程来看, 等级值 1 是一个平均值, 等级值大于 1 表示相关性较高, 等级值小于 1 表示相关性较差。

2.1 滑坡与地层岩性

库区地层出露较为齐全, 除缺失泥盆系下统, 石炭系的上、下统, 白垩系的大部分及第三系外, 自前震旦系到第四系均有出露。根据地层岩性及年代特征, 将地质年代相近、岩性相似的地层合并组合到一起, 同时根据已有的库区滑坡和地层分布关系的研究结果^[15], 为了方便统计分析, 将面积较小和滑坡分布较少的地层进行了合并, 形成新的 18 种地层岩性组合。表 1 是研究区域地层岩性组合与滑坡分布的关系。表中 b 为重分类的某个类属中不发生滑坡的格网数, a 为重分类的某个类属中发生滑坡的格网数, b/a 为二者的比值及相关性等级值。第四系, 侏罗系下统香溪组, 珍珠冲组和志留系等地层岩性组合的滑坡相关性等级都 > 1 , 说明其组合内滑坡发生的概率大, 其中以第四系相关性最高。这也和已有的调查统计研究结果一致^[15-18]。

2.2 滑坡和高程

在三峡工程蓄水水位达到 175 m 之后, 洪、枯水季节水位的变动, 会对滑坡造成一定的影响。图 4 为滑坡分布与地形因子关系, 纵坐标 b/a 为相关性等级值, 意义同前。图 4(a) 显示研究区域的 90 m, 135 m, 175 m 蓄水高程及其他高程带与滑坡分布关系。在 90 m 以下、90 ~ 135 m 和 135 ~ 175 m 三个蓄水高程带滑坡相关性等级都 > 1 , 说明三个蓄水高程带内滑坡发生的概率大, 其中以现在已经蓄水 90 ~ 135 m 高程带相关性最高。而在其他高程带内的滑坡相关性等级都 > 1 , 滑坡发生的概率较小。这也和已有的调查统计研究结果大型滑坡前缘高程在 70 ~ 90 m、100 ~ 130 m 和 150 m ~ 170 m³ 相对集中的标高段一致, 随高程增大, 大、中型滑坡残体少见^[19-21]。

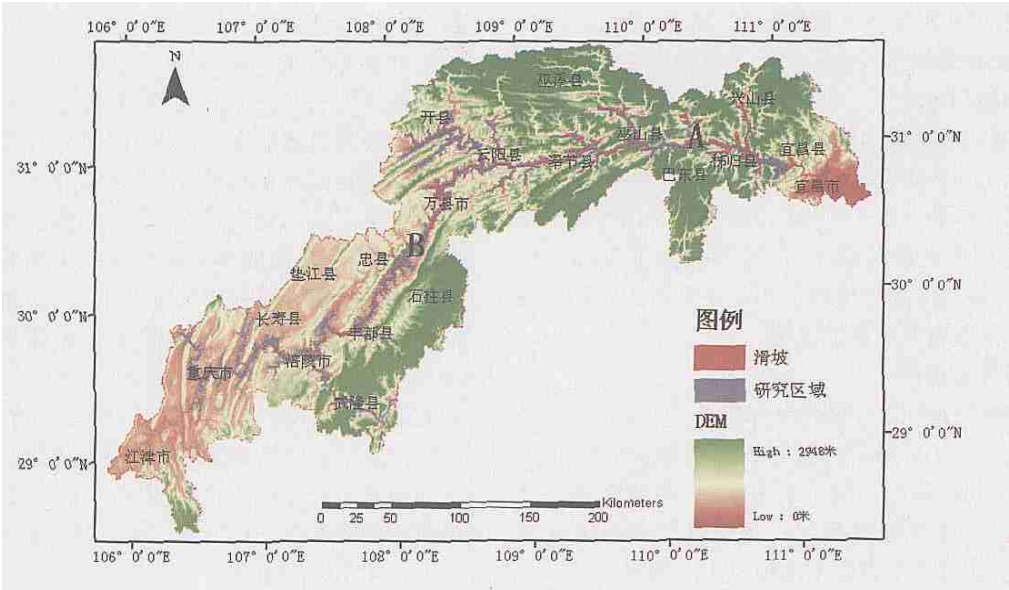


图 1 三峡库区研究区域和滑坡分布图

Fig. 1 Three Gorges Reservoir area and spatial distribution of landslides

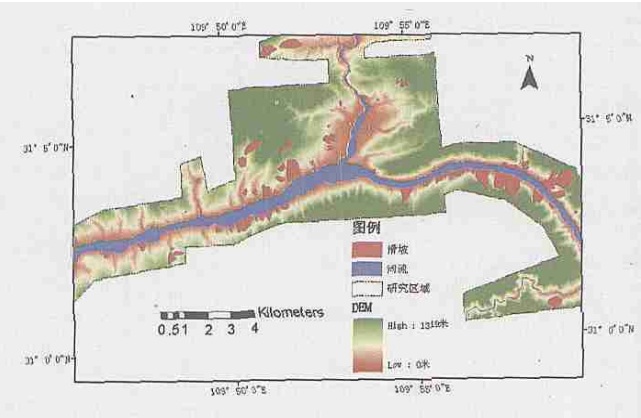


图 2 研究区域局部 DEM 和滑坡分布图

Fig. 2 DEM and landslides spatial distribution of part study area

2.3 滑坡和高差

三峡库区河流阶地在云阳以下级差增大, 以奉节、巫山为最高点, 向西逐步下降; 云阳以上阶地级差相对较小, 抬升幅度亦小; 云阳以下山体相对高度达 1 000 m 以上; 云阳以西, 地势逐渐变缓, 地表相对高度逐渐降低, 至万州以上相对高度仅 200~300 m。图 4(b) 显示研究区域内采用 3 m × 3 m 的窗口计算出的局部高差和与滑坡分布的关系图。在 15 ~ 35 m 间的各个局部高差分带滑坡相关性等级都 > 1, 说明在 15 ~ 35 m 局部高差带内滑坡发生的概率大, 其中以 15 ~ 20 m 局部高差带相关性最高。这和已有的调查统计研究结果, 长江三峡岸坡崩塌滑坡密度分布的河段, 也是切割深度比较大的河段

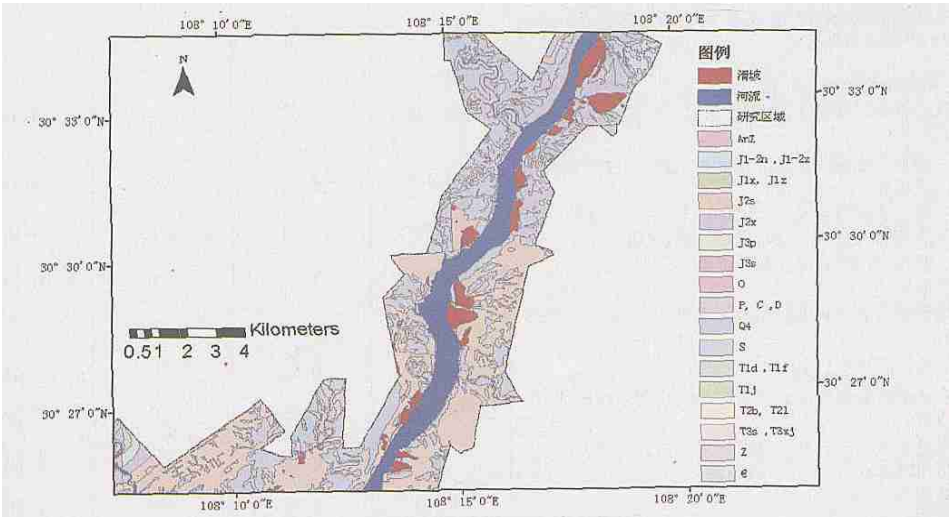


图 3 研究区域局部地层岩性组合和滑坡分布图

Fig. 3 Lithology formation and landslides spatial distribution of part study area

一致^[22],说明河流流水侵蚀加深、加宽河床,是新崩滑体形成和老崩滑残体复活的重要动力因子之一。

2.4 滑坡和坡度

一般认为,地形坡度对滑坡发生起着控制性作用。图4(c)是研究区域内滑坡坡度分级和与滑坡分布的关系图。在5°~10°,10°~15°,15°~20°和20°~25°四个坡度等级中,滑坡相关性等级都>1,其中以10°~25°间坡度等级相关性更高,说明10°~25°间坡度带为滑坡多发区域。

2.5 滑坡和坡向

将滑坡分布位置的坡向分为8个方向,-1表示平地。图4(d)是研究区域内滑坡坡向分级和与滑坡分布的关系图。可以看出在北、南和西北三个方向滑坡相关性等级都>1,其中以北向相关性最高。说明在这三个方向上滑坡发生的概率大。

2.6 滑坡与地表曲率

地表的主要特征为坡度、坡向和曲率。地表曲率是地表的二次导数,也就是坡度的变化率,它直接影响地表径流的汇集。可以由DEM计算出沿着坡度方向的剖面曲率和垂直坡度方向的平面曲率。坡度影响水流流动的速率,也就是剖面曲率影响水流的加减速速度,平面曲率影响水流的集中和分散。曲率为正表示该栅格处为向上凸的地表,负值表示该栅格处为向下凹的地表,0值表示该栅格处坡度值没有变化。一般的地表的曲率在-0.5~0.5间,陡峭的地表的曲率在-5~5间。图4(e)和(f)是研究区域内曲率分级和与滑坡分布的关系图。可以看出区内地表十分陡峭,同时仅仅在-1~1曲率等级中滑坡相关性等级>1,说明三峡区域多数滑坡发生在坡度变化不大的地方。

表 1 滑坡分布与岩性岩组关系

Table 1 Relation of landslide distribution and lithology formation

代号	地层岩性组合	滑坡不发生		滑坡发生		b/a
		格网数	比值(%),a	格网数	比值(%),b	
Q ₄	第四系	2 011 605	33. 10	230 025	82. 01	2. 48
J ₃ P	侏罗系上统蓬莱镇组长石砂岩、石英砂岩	286 516	4. 71	3 034	1. 08	0. 23
J ₃ S	侏罗系上统遂宁组泥岩、粉砂岩与厚层长石砂岩互层	496 772	8. 17	7 024	2. 50	0. 31
J ₂ S	侏罗系中统上沙溪庙组泥岩、砂质泥岩与厚层长石砂岩互层	1 359 648	22. 37	12 270	4. 37	0. 20
J ₂ Xs	侏罗系中统下沙溪庙组泥岩、粉砂质泥岩与长石砂岩不等厚互层	208 436	3. 43	1 830	0. 65	0. 19
J ₂ X	侏罗系下统新田沟组页岩、泥岩与石英砂岩、泥质粉砂岩互层	138 466	2. 28	2 614	0. 93	0. 41
J ₁₋₂ ^a , J ₁₋₂ ^z	侏罗系下统聂家山组、自流井组泥岩、页岩夹粉砂岩生物碎屑灰岩、泥灰岩	130 873	2. 15	2 729	0. 97	0. 45
J ₁ X, J ₁ Z	侏罗系下统香溪组、珍珠冲组石英砂岩、粉砂岩夹泥岩、页岩,底部见不规则煤层	95 490	1. 57	4 839	1. 73	1. 10
T ₃ S, T ₃ Xj	三叠系上统沙镇溪组、须家河组石英砂岩、长石砂岩、粉砂岩及粘土岩	111 396	1. 83	947	0. 34	0. 18
T ₂ b, T ₂ l	三叠系中统巴东组、雷口组泥灰岩、白云质灰岩与紫红色粉砂岩粘土岩互层,粘土岩、水云母粘土岩夹灰岩	466 108	7. 67	9 951	3. 55	0. 46
T ₁ j	三叠系下统嘉陵江组薄至厚层状灰岩、白云岩夹角砾状灰岩	439 426	7. 23	935	0. 33	0. 05
T ₁ d, T ₁ f	三叠系下统飞仙关组、大冶组薄层中厚层状灰岩、泥质灰岩与页岩、炭质页岩互层和夹层	69 376	1. 14	278	0. 10	0. 09
P, C, D	二叠系、石炭系、泥盆系页岩、白云岩、泥质灰岩、石英砂岩	65 386	1. 08	380	0. 14	0. 13
S	志留系页岩、粉砂质页岩、泥质粉砂岩、页岩夹粉砂岩	48 257	0. 79	3 050	1. 09	1. 37
O	奥陶系砂质页岩、生物碎屑灰岩	31 787	0. 52	21	0. 01	0. 01
Є	寒武系白云岩夹白云质灰岩、灰岩、泥质粉砂岩、炭质灰岩	38 495	0. 63	530	0. 19	0. 30
Z	震旦系微晶白云岩夹薄板状灰质白云岩、钙质页岩与白云岩互层、长石石英砂岩	1 993	0. 03	11	0. 00	0. 12
AnZ	前震旦系	76 931	1. 27	2	0. 00	0. 00
格网数总计		6 076 961	100. 00	280 470	100. 00	1. 00

3 结论与讨论

在 GIS 技术支持下, 可以快速、准确地进行滑坡空间分布与滑坡影响因子统计相关分析, 这对认识滑坡空间分布、发生规律, 滑坡稳定性的影响因子与主次关系, 建立滑坡稳定性评价预测分析模型都有很重要的意义。依据三峡库区研究区域内滑坡和其影响因子之间的相关性分析得到相关性等级, 得到与滑坡发生有关的各个影响因子对滑坡发生的主要影响(表 2)。

根据数据源的比例尺和研究区空间范围大小, Leroi E^[23] 和 Luzi L^[24] 把 GIS 支持下的滑坡风险评价划分为几个层次: 小比例尺大尺度 (> 1:

250 000), 研究范围为几千平方公里, 主要为滑坡编录; 中比例尺中尺度(1: 25 000~ 1: 50 000), 研究范围为几百平方公里, 主要为灾害和危险区划; 大比例尺小尺度(1: 5 000~ 1: 10 000), 研究范围为几十平方公里, 为确定性和统计风险评价。三峡库区选定研究区域面积4 539 km², 按研究区空间范围大小来看属于大尺度层次; 数据使用的比例尺为 1: 10 000, 按数据比例尺来看属于小尺度的确定性和统计风险评价层次。本次研究使用 1: 10 000 比例尺高精度数据进行大尺度层次的滑坡统计分析, 这在国内外的相关研究中还鲜见。在此基础上, 利用得到的相关性等级可以进行研究区域或者整个三峡库区滑坡易发性评价。

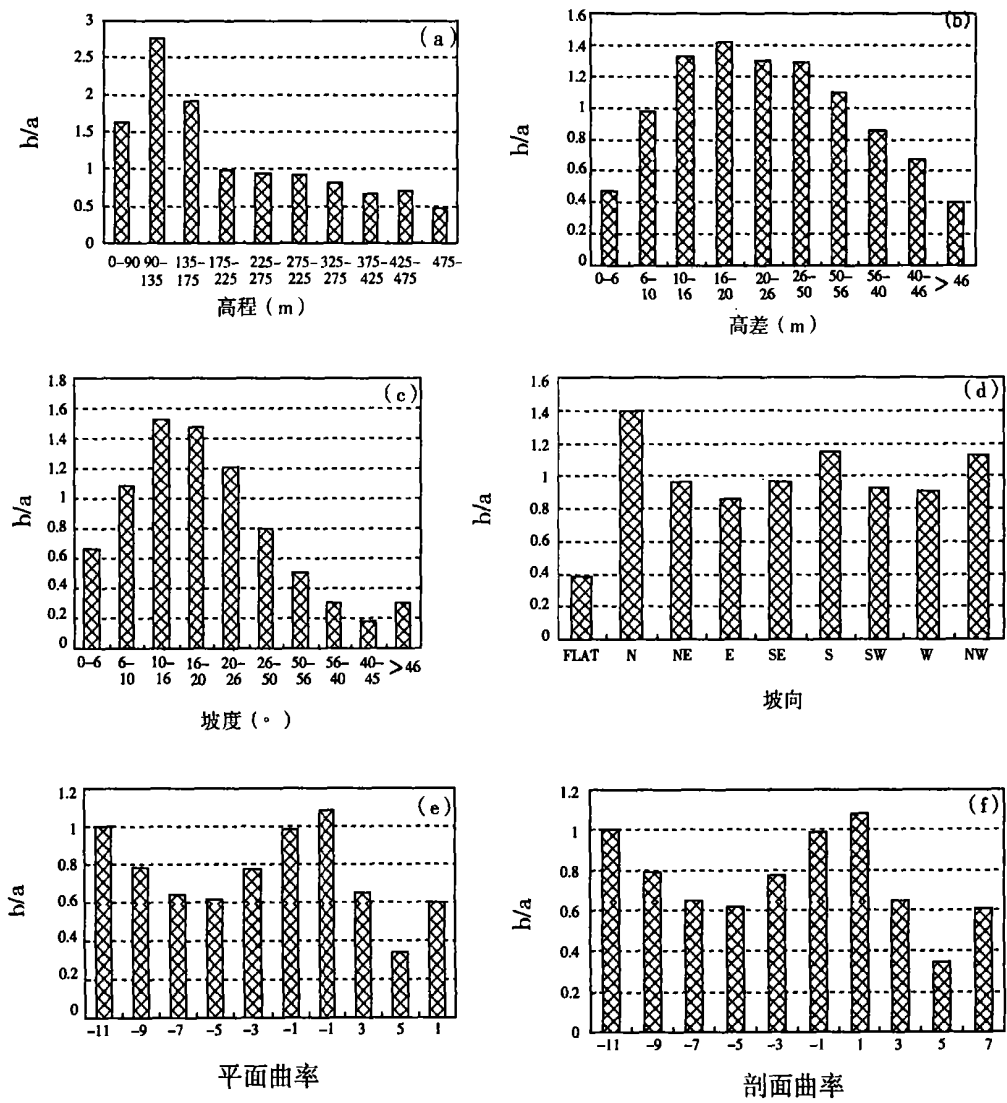


图 4 滑坡分布与地形因子关系

表 2 各因子对滑坡发生的主要影响

Table 2 The influence of pertinent factors on the occurrence of landslides

	地层岩性组合	高程	高差	坡度	坡向	曲率
对 滑 坡 发 生 的 主 要 影 响	第四系, 侏罗系下统香溪组、珍珠冲组石英砂岩、粉砂岩夹泥岩、页岩、底部见不规则煤层和志留系页岩、粉砂质页岩、泥质粉砂岩、页岩夹粉砂岩	90 m 以下、90~ 135 m 和 135~ 175 m	15~ 20 m 局部高差	10° ~ 25°	北、南 和西北	- 1~ 1

滑坡灾害评价分为易发性(Susceptibility)、概率性(Possibility)和灾害性(Risk)三个层次^[25]。易发性评价是滑坡发生可能性和滑坡相关因子之间的函数,不依赖于滑坡外部动力因子;概率性评价在易发性评价的结果基础上,加上外部动力因子进行的评价;灾害性评价是在概率性评价的结果基础上,加上受损的对象(人口、财产等)进行的评价。滑坡的形成是外部因子作用于内部因子的结果^[26],通常情况下,当外部因子的作用强度超过某一阈值时则导致坡体失去平衡形成滑坡。受资料的限制,本文中沒有对外部动力因子进行相关性等级的统计分析。选定的三峡研究区域范围大小完全可以区分降雨等外部动力因子空间分布,如果增加褶皱、断裂、地震地质、地下水、降水、侵蚀、地表覆盖、人工活动等坡体外因子和研究区域人口、财产等受损因子,可以在进行滑坡易发性评价的基础上,进行滑坡发生概率性和灾害性评价。

参考文献(References):

[1] Carrara A. Landslide hazard mapping by statistical methods: A “black-box” model approach[A]. Proceed Int. Workshop Natural Disasters in Europ. Mediterr. Countries, Perugia, June 27– July 1[C]. 1989. CNR– USNSF, 205~ 224.

[2] Carrara A. Cardinali M., Detti R., Guzzetti F., et al.. Geographical information systems and multivariate models in landslide hazard evaluation[A]. Proceedings Sixth International Conference and Field Workshop on Landslides: Alps’90, Milan, Cancelli, A. [C]. 1990, 1~ 28.

[3] Carrara A. Cardinali M., Detti R., Guzzetti F., Pasqui V., et al.. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard [J]. *Earth surface Processes and Landforms*, 1991, 16: 427~ 445.

[4] Carrara, Albert, Cardindi. Uncertainty in assessing landslide hazard and risk[A], ITC, 1992. 172~ 183.

[5] A. Carrara. GIS technology in mapping landslide hazard[A], In: A Carrara and F. Guzzetti, Geographical information systems in assessing natural hazards [C]. 1995, 135~ 175.

[6] Brabb, E. Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping[A]. In: Proceedings of the Fourth International Symposium on landslide[C]. Toronto, 1984. 307~ 323.

[7] Gao J. Identification of topographic settings conducive to landslide

ing from DEM in Nelson County, Virginia, USA[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1993, 18: 579~ 591.

[8] Mark R., Ellen K. Statistical and simulation models for mapping debris flow hazard[A]. In: A Carrara & F. Guzzetti (eds). Geographical Information System in Assessing natural Hazards, Kluwer, The Netherlands[C]. 1995. 93~ 106.

[9] Laren M C., Torres-Sanchez A J. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico [J]. *Geomorphology*, 1998, 24: 309~ 331.

[10] Dai Fuchu, Li Jun. Applications of geographic information systems in landslide studies, *Geological Science and Technology Information*, 2000, 19(1): 91~ 96. [戴福初, 李军, 地理信息系统在滑坡灾害研究中的应用, 地质科技情报, 2000, 19(1): 91~ 96.]

[11] Lee S., Ryu J., Min K., et al.. Development and application of landslides susceptibility analysis techniques using Geographic Information System(GIS) [J]. *IEEE*, 2000, 319~ 321.

[12] Lee, Min, K. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology* [J], 2001, 40: 1095~ 1113.

[13] Temesgen B., Mohammed M U., Korme T. Natural hazard assessment using GIS and remote sensing Methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet Area [J]. *Phys. Chem. Earth*, 2001, 26(9): 665~ 675.

[14] Du Rongheng, Liu Xinming, Yuan Jianmo, et al.. Study on Landslides and Debris-flows in the Three Gorges[M]. Chengdou: Sichuan Science & Technology Publishing House, 1991. 1~ 207. [杜榕桓, 刘新民, 袁建模, 等, 长江三峡工程库区滑坡与泥石流研究[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1991. 1~ 207.]

[15] China Geological Survey. Unstability Problems of the Slope along Yangtze River in the Region of the Three Gorges Project[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988. 1~ 90. [中国地质调查局编写组. 长江三峡工程库岸稳定性研究[M]. 北京: 地质出版社, 1988. 1~ 90.]

[16] Yi Wu. Some realization about main environment geological calamity of Three Gorges Project Damsite[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2001, 31(10): 74~ 76. [易武. 关于三峡库区主要环境地质灾害的几点认识[J]. 长春科技大学学报, 2001, 31: 74~ 76.]

[17] Zhang Nianxue, Sheng Zhupin, Sun Guangzhong, et al.. Study on Landslide on Consequent Slope in the Three Gorges[M]. Beijing: Seismal Publishing House, 1993. 1~ 226. [张年学, 盛祝平, 孙广忠, 等. 长江三峡工程库区顺层岸坡研究[M]. 北京: 地震出版社, 1993. 1~ 226.]

[18] Wu Shuren, Hu Daogong, Tang Chengxuan, et al.. Prediction of landslide hazards in the forereservoir region of the Three Gorges Project on the Yangtze River[J]. *The Chinese Journal of Geologi-*

- cal Hazard and Control*, 1998, **9**(3): 141~ 147. [吴树仁, 胡道功, 唐成选, 等. 三峡库区滑坡灾害预测[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, **9**(3): 141~ 147]
- [19] Wang Huabin, Wu Shuren. Danger Evaluations of Landslide Hazard in the Three-Gorge Reservoir Area of Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1998, **7**(2): 186~ 192. [汪华斌, 吴树仁. 长江三峡库区滑坡灾害危险性评价[J]. 长江流域资源与环境, 1998, **7**(2): 186~ 192.]
- [20] Wang Kui, Li Shujing, Wang Xieyou, *et al.*. Study on the formation and distribution of landslide geological hazard in the Three Gorges Reservoir area[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2000, **11**(2): 24~ 29. [王奎, 李述靖, 王学佑, 等. 长江三峡库区崩滑地质灾害的形成与分布规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2000, **11**(2): 24~ 29.]
- [21] Wang Wenjun. Characteristics and Risk Evaluation of Collapse and Landslide in the Three Gorges Reservoir[J]. *Journal of Catastrophology*, 2002, **17**(4): 54~ 59. [王文俊, 三峡库区干流崩塌、滑坡的发育特征及危险性评价[J]. 灾害学, 2002, **17**(4): 54~ 59.]
- [22] Yang Dayuan, Li Xusheng, Feng Limei, *et al.*. Pilot study on the collapses and landslides of the three Groge Reservoir of the changjiang River[J]. *Journal of Geomechanics*, 2002, **8**(2): 173~ 178. [杨达源, 李徐生, 冯立梅, 等. 长江三峡库区崩塌滑坡的初步研究[J]. 地质力学学报, 2002, **8**(2): 173~ 178.]
- [23] Leroi E. Landslide hazards-risk map different scales: objectives, tools and developments[A]. In: *Sennese Landslides*[C]. Balkema: Rotterdam, 1996: 35~ 51.
- [24] Luzi L, Floriana P. Application of statistical and GIS techniques to slope instability zonation(a: 50, 000 Fabriano geological map sheet)[J]. *Soil Dyn Earthquake Eng*, 1996, **15**: 83~ 94.
- [25] Einstein H. Landslide risk assessment procedure[A]. In: *Bonnard C(ed) Proceedings of the Fifth International Symposium on landslides*[C], 1988, vol **2**, 1075~ 1090.
- [26] P. Buchanan, K. W. Savigny. Factors controlling debris avalanche initiation[J]. *Can. Geotech. J.* 1990, **27**, 659~ 675.

Analysis of Landslide Causative Factors Using GIS in the Three Gorges Reservoir Area, China

BAI Shibiao, Lü Guonian, SHENG Yehua, YANG Yipeng

(Jiangsu Provincial Key Lab of Geographic Information Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract: Geographical information system(GIS) are drawing more and more attention in the field of landslide studies because of the powerful spatial analysis and spatial database management. The author review statistical relationship between landslide occurrence and static and dynamic variables using powerful function of GIS. Slope instability problems exist over a wide range of scale terrain, climatic conditions and other triggering factors. The factors include static factors and dynamic factors. In the paper, dynamic factors such as rainfall, earthquake, and human activity haven't be used. To apply the statistical method, a spatial database that considered static factors were designed and constructed. These data are available either as a paper map or as a digital map. A digitized map of landslide location and boundaries were produced from the catalogue about regional landslides and 1: 10 000 distribution maps; topographical and geological data (1: 10 000- scale paper maps) are collected, digitized and manipulates into a spatial database using ArcGis GIS; Elevation data were obtained by converting the 1: 10 000 scale digitized topographical map(contour interval is 25 m) and a DEM (25 m resolution) was made. Using the DEM, the elevations, local relief, slope, aspect, profile curvature, plan curvature were calculated. Stratum, lithology formation were extracted from the geological database. In order to reveal the correlation between landslide area and these instability factors, all digital data were input to the GIS, all input variables were grouped into a few meaningful classes to integrate quantitative variable with qualitative variable, a vector-to-raster conversion was undertaken to provide a raster data of factors and landslide areas with 25 m × 25 m pixels. We used 7 landslide triggering factors to analyze the relation landslide spatial distribution and their contributing factors. All triggering factors have uncertainties and different factors have different relationship to the distribution of landslides. The influence of pertinent factors on the occurrence of landslides is Q₄, J_{1x}, J_{1z}, S lithology

formation; 90 m, 90 m~ 135 m and 135 m~ 175 m elevations; 15 m~ 20 m local relief; $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$ slope; N, S and WN aspect and $-1 \sim 1$ curvature. The GIS was used to analyze the vast amount of data efficiently, and statistical programs were used to maintain specificity and accuracy. The results can be used to reduce associated hazards, and to plan land use and construction.

Key words: Three Gorges Reservoir area; landslide; GIS; causative factor; statistical analysis

《山地学报》征稿简则

《山地学报》由中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所和中国地理学会主办, 是专门报道山地科学研究理论及与山区开发、环境保护和整治、建设实践相结合的综合性科技期刊。内容涵盖自然科学与人文科学两大门类中与山地研究、开发有关的多学科知识, 重点报道山地资源开发与山地生态环境演变、山区工程建设与山地灾害防治(滑坡、泥石流、水土流失、山洪等)、山区社会发展与城镇规划、山区持续发展与产业结构调整等领域的理论、应用技术和实验方法、管理经验等。同时设有学术动态、新书介绍和书评等不固定栏目。本刊适合于从事上述工作的科技人员、决策者、管理干部和大专院校师生阅读、参考; 适合于综合图书馆(室)、政府的国土资源、水利电力、城建与交通及农林牧等部门的资料(情报)室收藏。《山地学报》为双月刊, 对国家自然科学基金资助研究成果、开放实验室研究成果等的首发稿将优先安排发表。请作者投稿时说明, 并附有关证明材料。

来稿要求:

1. 来稿务必论点明确, 主题突出, 数据资料可靠, 文字精炼, 每篇论文(包括图表和参考文献)以不超过 12 000 字为宜, 文前写 200 字左右的中文摘要; 文末(参考文献之后)附相当于中文 1 000 字的英文摘要, 须包含研究目的(意义)、方法、结果、结论等实质内容, 篇幅以本刊 1 个印刷页为宜, 并另附对应中文以备审稿用; 在中英文摘要后列出 3~ 8 个关键词。

2. 如系国家和省级自然科学基金资助项目或国家、省部级重点(专项资助)项目, 请在首页脚注处标明项目名称和编号, 并译成对应英文, 以方括号括住附于中文后。作者简介置于首页脚注处, 包括姓名(出生年), 性别(民族)、籍贯(省市)、学位、职称、专业方向、联系方式等, 亦须译成对应英文附于中文作者简介后。

3. 来稿请寄计算机录入排版的打印样稿 2 份, 录入软件请用 Word 或北大方正(书版)。来稿须按本刊规定的正、辅文项目齐全, 位置正确, 如缺项或不符合本刊编排规范, 将退回补正后方受理。

4. 插图请用黑墨在透明纸上清绘、植字, 或用计算机制图, 墨色要黑, 插图切勿过大, 文稿中应标明插图位置, 并在图框下标明中、英文对照的图号、图题和图注(图注置于图与图名之间)。表应有中、英文对应的表名, 对说明主题有重要价值的表内栏目亦请附对应英译名称。图、表宽度以 70 mm 或 15 mm 为宜, 表一般应为三线表。

5. 文稿中外文字母、符号必须分清大小写、正斜体、黑白体; 上下标的字母、数码和符号, 其位置高低应区分明显, 容易混淆的外文字母请用铅笔标注。文中计量单位必须采用国家法定计量单位符号表示。

6. 参照国际标准化组织(ISO)和国家有关标准, 文内各级标题及题号一律顶格书写, 题号分级采用 1; 1. 1; 1. 1. 1; 2; 2. 1; 等标著形式, 一般标题层次为 3 级, 最多不超过 4 级。

7. 按照 GB 7714-87《文后参考文献著录规则》的有关规定, 本刊参考文献采用“顺序编码制”, 按文中出现的先后为序编码, 并将序号置于方括号中放在引用处的右上角(即上标)。

参考文献类型及其标识代码根据 GB 3469-83 的规定, 以字母方式标识, 它们是: 专著[M], 期刊文章[J], 论文集[C], 析出文献[A], 报告[R], 软件[CP], 国家标准[S], 报纸文章[N], 学位论文[D], 其他[Z], 联机网上数据库(database online) [DB/OL], 磁带数据库[DB/MT], 光盘图书[M/CD], 网上期刊[J/OL], 网上电子公告[EB/OL]。为了便于国外数据库的检索, 如果是中文参考文献, 应附上对应的英文。文献作者不超过 3 人全部列出, 作者之间加逗号; 作者超过 3 人只列前 3 位, 后加“等”字。

8. 投稿者请严格遵守国家保密规定, 涉及国家和地区名称、界线等政治问题须认真核实, 与我国政府口径一致。

9. 文责自负。本刊对来稿有修改权, 如不同意请事先声明。

10. 《山地学报》已入编《中国学术期刊(光盘版)》, 凡不同意载入光盘版的作者, 请在来稿上注明。

来稿一式 2 份, 勿一稿多投。编辑部收稿后 2~ 3 个月内告之处理意见。请自留底稿, 刊用与否均不退还原件。若 3 个月未收到意见, 作者可视为退稿; 作者收到修改意见后, 3 个月内未将修改稿返回编辑部, 视为作者撤稿。本刊对刊用稿件需收版面费和审稿费, 并按篇酌致稿酬。如需抽印件, 请事先声明数量, 酌收成本费用。

来稿请寄: 成都市一环路南二段 10 号中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所《山地学报》编辑部(邮政编码 610041), 垂询电话: (028) 85223826。作者投稿时务必附上联系电话。