

· 信息技术 ·

文章编号 :1671 - 1947(2005)03 - 0231 - 03

中图分类号 :P628 ;P642. 22

文献标识码 :A

基于 GIS 的信息量法在滑坡危险性评价中的应用

光 磊

(深圳市高级中学地理科组,广东 深圳 518040)

摘 要:根据滑坡灾害发生的特点,充分利用 GIS 强大的空间数据管理能力和空间数据分析能力,结合数据统计分析中的信息量法作为 GIS 的数据处理方法,对滑坡危险性进行评价,使得分析评价结果最终在 GIS 软件中成图显示,从而以较高的精度完成滑坡危险性评价,并大大提高了滑坡灾害评价的效率。

关键词:GIS; 滑坡危险性评价; 信息量法

滑坡灾害是指自然地质作用和人类活动造成的恶化地质环境,降低环境质量,直接或间接地危害人类生态安全和生态环境平衡,并给社会和经济建设造成一定损失的斜坡变形破坏乃至整体移动事件^[1]。它是在地球表层一定空间范围和一定时间内发生的一种灾害现象,在空间上各种类型的滑坡体大小有很大的区别,时间上快慢差别也很大,但它们都是灾害孕育环境与触发因子共同作用的结果。而滑坡灾害及其影响因素都与空间位置密切相关,利用地理信息系统(GIS)技术不仅可以对滑坡灾害及其相关信息进行管理,而且可以从不同空间和时间尺度上分析滑坡发生与环境因素之间的统计关系,定量-半定量评价滑坡灾害发生风险及其可能的灾害范围。

1 GIS 技术引入滑坡灾害评价的优势

将 GIS 引入滑坡灾害危险性评价,主要是考虑到 GIS 的空间数据管理能力和其强大的空间数据分析能力,将其作为地质灾害危险性评价的分析工具,来加速滑坡危险性评价的过程,提高危险性评价的精度。同时由于 GIS 独特的空间分析功能和超强的数据分析能力,在滑坡地质灾害危险性评价过程中又衍生出一些只有 GIS 才能完成的评价方法,而且,这种充分利用 GIS 功能的危险性评价方法还在不断的产生。GIS 支持下的滑坡地质灾害危险性评价的目的是区分出不同危险性等级区域,并通过危险性制图来反映。其参与评价的理论依据是工程地质类比法,当某一地区地形条件达到了与那些发生过滑坡的地区相当的或者类似的条件时,该地区即被认为是滑坡的易发地区。这种滑坡的不稳定性由一系列复杂的相互关联的地形参数,如岩性及岩石的结构状况、侵蚀状况及与上覆层的接触关系、上覆土壤的物理特性、斜坡的倾斜度和外部形态、水文学条件、植被覆盖状况、土地利用、土地使用习惯和人类活动条件相互作用组成,因而可以根据现有滑坡的条件预测未来滑坡的空间位置,而这要依赖于对上述所有与滑坡空间分布相关的地形变量的联合

分析。地理信息系统的引入从根本上满足了这种分析要求。一般来说这种分析多采用统计分析模型,主要是对现有滑坡的地质环境条件和作用因素之间的统计规律进行研究,在此基础上采用各种数学方法将各影响因素叠加来求得危险性级别或进行危险等级划分。现今用信息量法做灾害危险性评价研究也常见,但多数方法是建立在 GIS 的基础上的。地理信息系统已经成为地质危险性评价中对于相关空间变量进行分析的非常理想的工具。

2 基于 GIS 的信息量法滑坡危险性评价的原理

2.1 GIS 的滑坡评价原理

利用 GIS 进行地质灾害危险性评价中充分利用了 GIS 的空间叠加分析功能,将每个影响滑坡的因素用一张专题地图来表示。基于矢量的空间叠加分析中,多个专题图层相互叠加产生了新的多边形并且附带了原来多个专题图的属性;基于栅格的空间叠加分析中,每一个图层对应的栅格之间作相应的四则运算或者是函数运算,得到一张新的栅格专题图,为各因素层运算之后的结果。

基于 GIS 的滑坡危险性评价方法,实质上是针对输入的各评价因素层所作的某种函数叠加运算,叠加运算的结果即是危险性评价的结果^[2]。本质上可以将这种危险性评价表示为多个图层的函数:危险性评价 = $f(\text{土地利用图,坡度图,坡向图,……})$ 。本文研究过程中将主要利用栅格的空间叠加分析功能,这也是目前 GIS 中比较完善的空间分析功能。

2.2 信息量法的滑坡评价原理

滑坡灾害现象(Y)受多种因素影响,各种因素所起作用的大小、性质是不同的。在各种不同的地质环境中,对于滑坡灾害而言,总会存在一种“最佳因素组合”,它对滑坡发生的“贡献率”最大。因此,对于区域滑坡灾害要素应综合研究“最佳因素组合”,而不是停留在单个因素上。信息预测的观点认为:滑坡灾害的

收稿日期:2003-10-21;修回日期:2004-02-09。李兰英编辑。

基金项目:重庆市科委院士基金项目“重庆市 2001-2010 年减灾规划”(99-5482)。

产生与否与预测过程中所获取的信息的数量和质量有关,是用信息量来衡量的^[3]:

$$I(Y, X_1 X_2 X_3 \dots X_n) = \ln \frac{P(Y, X_1 X_2 \dots X_n)}{P(Y)} \quad (1)$$

根据条件概率运算,上式可进一步写成

$$I(Y, X_1 X_2 X_3 \dots X_n) = I(Y, X_1) + I_{X_1}(Y, X_2) + \dots + I_{X_1 X_2 \dots X_{n-1}}(Y, X_n) \quad (2)$$

式(1)中, $I(Y, X_1 X_2 X_3 \dots X_n)$ 为因素组合 $X_1 X_2 \dots X_n$ 对滑坡灾害所提供的信息量; $P(Y, X_1 X_2 \dots X_n)$ 为因素 $X_1 X_2 \dots X_n$ 组合条件下滑坡发生的概率; $I_{X_1}(Y, X_2)$ 为因素 X_2 存在时,因素 X_2 对滑坡提供的信息量; $P(Y)$ 为滑坡发生概率。

式(2)说明:因素组合 $X_1 X_2 \dots X_n$ 对滑坡提供的信息量等于因素 X_1 提供的信息量,加上因素 X_1 确定后因素 X_2 对滑坡灾害提供的信息量,直至因素 $X_1 X_2 \dots X_{n-1}$ 确定后, X_n 对滑坡灾害提供的信息量,从而说明区域滑坡灾害信息预测是充分考虑因素组合的共同影响与作用。

信息量法本质上属于统计分析方法,在国外有学者将其归为双变量统计分析法^[4]。双变量统计分析将专家的主观经验与GIS的客观数据分析能力很好地结合起来。这类方法的优点是对于滑坡影响因素的选取是由有经验的执行分析的专家完成的,这就将专家的知识引入了分析过程。具体到信息量法,它实际上是通过已变形或破坏的地质体的现实情况和提供的现实信息,把反映各种评价地质体稳定性因素的实测值转化为反映地质体稳定性的信息量值,即用评价地质体稳定性的各因素的信息量来表征其对地质体变形破坏的“贡献”的大小,进而评价地质体稳定性程度。信息量用概率计算,实际计算时可用频率估计条件概率来估算^[5]。

使用此方法的具体过程为,首先建立评价的指标体系,然后对相关的因子图层和滑坡分布图层划分评价单元,在此评价单元内将各图层对滑坡影响的信息量累加,最终确定该单元所在的位置各因素对滑坡发生的综合信息量大小。模型建立如下:

①首先单独计算各因素 X_i 对滑坡发生(H)提供的信息量 $I(X_i, H)$:

$$I(X_i, H) = \ln \frac{P(X_i/H)}{P(X_i)} \quad (3)$$

式中, $P(X_i/H)$ 为滑坡发生条件下出现 X_i 的概率; $P(X_i)$ 为研究区内出现 X_i 的概率。

公式(3)是其理论模型,但在实际计算时往往用下列样本频率计算:

$$I(X_i, H) = \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (4)$$

式中, S 为研究区评价单元总数; N 为研究区含有滑坡分布的单元总数; S_i 为研究区内含有评价因素 X_i 的单元数; N_i 为分布在因素 X_i 内特定类别内的滑坡单元数。

②计算单个评价单元内总的信息量

$$I_i = \sum_i^n I(X_i, H) = \sum_i^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (5)$$

式中, I_i 为评价单元总的信息量值; n 为参评因子数;其他参数同前。

③用总的信息量 I_i 作为该单元影响滑坡发生的综合指标,其值越大越有利于滑坡的发生,然后对最终的全部单元的信息量值划分类别,分成不同的危险等级。

3 基于GIS的信息量法对滑坡评价的技术过程

3.1 因子图层的准备

以建立的滑坡危险性评价数据库为基础,从中派生和转换出需要的因子图。

①坡度图、坡向图和DEM栅格派生数据的获取。从数据库中取出制作好的矢量等高线图,利用ArcGIS中的3D Analyst模块生成TIN模型;加载ArcGIS的spatial analyst模块,对生成的TIN进行空间分析,进一步提取坡度和坡向信息;为了使用基于栅格的空间叠加分析,还需要将TIN转化为基于栅格的DEM模型。利用空间分析模块中的TIN to raster,将TIN转化为栅格DEM模型。

②到河流、道路和到地层的距离图的生成。河流和道路主要影响滑坡的临空面条件,而且道路的影响还包括开挖坡角和人工弃土,这也是滑坡发生的两个重要条件。到地层的距离主要考虑滑坡大多发生在某些地层的分界线附近。利用ArcGIS中空间分析模块分别生成到河流、道路和到地层的距离分布图。

③居民地数据的准备。居民地分布数据是直接由遥感数据中通过遥感处理技术解译出来的。

④地层段数据的准备。地层段数据一般从危险性评价的数据库中提取。

由于数据库中存储的各因子数据层的范围并不统一,一些数据如等高线由于受数据来源的限制,范围就不如各种距离图的范围大,而利用栅格数据进行空间叠加分析,是基于单个像元的。如果各图层因子大小不一,则对应的栅格单元的大小和数量也会有所差异,这种情况下往往无法正常利用基于栅格的空间叠加分析,导致错误的出现。因此,对上述所有数据层还需要做统一的规范,即规定图层的有效范围、栅格单元的数目、栅格单元的大小等。

3.2 各因子图层与滑坡分布图的叠加分析

在公式(5)中,如果对其稍作变换就可以看出,信息量法的关键点之一是求出每一因子图层中各类型滑坡的分布密度:

$$I_i = \sum_i^n I(X_i, H) = \sum_i^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} = \sum_i^n \ln \frac{N_i/S_i}{N/S} \quad (6)$$

其中, N/S 为区域总的滑坡分布密度,在研究区域一定的情况下,它是一个定值。公式(6)中最后一项分子中 N_i/S_i 即滑坡在某图层特定类别内的分布密度。

为统计 N_i/S_i ,需要利用ArcGIS的空间分析模块。在ArcGIS的栅格计算器中分别将各因子图层与滑坡图层作“乘”分析,得到一张新的滑坡分布图,其基本原理是基于两个图层之间对应的栅格的运算。通过该图的属性表,即可以得到滑坡在该因子图层各类型的分布状况。

3.3 各因子图层各类别信息量的计算

将各图层因子的属性表和对应的与滑坡分布做“乘”运算后得到的各图层因子的属性表存为 Excel 表格,在 Excel 中按如下公式计算出每个图层各类的信息量值:

$$I(X_i, H) = \ln \frac{N_i / N}{S_i / S} = \ln \frac{N_i / S_i}{N / S} \quad (7)$$

上式中, S 为研究区评价单元总数, N 为研究区含有滑坡分布的单元总数。最终得到图层因子内各类别的信息量,然后按照各类别与对应的信息量之间的关系,对各类别赋予对应的信息量值,得到信息量图层。

3.4 各因子图层的重分类

在实际中某些因素对滑坡的影响并不完全是按要素量的增加而成正比增加的,而往往在一个数量范围内对滑坡的影响是稳定的^[6,7]。如距离道路的2m和距离道路5m的地方其对滑坡的影响可能几乎是一样的,而150m则可能与5m的地方有较大的差异。因此,需要对部分连续数据重新分类。分类主要在 ArcGIS 空间分析模块中利用 reclassify 命令完成。在信息量法中,亦同样需要对因子图按照参数表中的信息量重新分类。

3.5 信息量图层的空间叠加分析

每个图层因子中各类别的信息量值求出来后,就可以将不同图层之间相对应的栅格做累加。主要利用 ArcGIS 提供的空间栅格计算器完成这项空间分析功能。最终结果得到整个研究区的一张综合信息量图,亦即滑坡危险性得分图,图中列出信息量的范围。数值越大,反映各因素对滑坡发生的贡献率越大,发生滑坡的危险性越大^[8]。

4 结语

利用 GIS 的空间数据管理能力和其强大的空间数据分析能

力,将 GIS 引入滑坡危险性评价,并且结合数学统计中的信息量法,最终在 GIS 软件中成图显示,从而以较高的精度完成了滑坡危险性评价。这样,就使得 GIS 软件得到充分利用又弥补了以往 GIS 软件很少用于对数据统计分析的缺陷,大大提高了滑坡灾害评价的效率和精确性。

研究中虽然顺利地利用 GIS 中数据的导入、导出以及计算问题,但毕竟这种数据计算还远不能满足灾害分析的需要,有待于今后直接在 GIS 中进行二次开发,将一些更复杂的算法(如逻辑回归评价模型)直接以 GIS 中功能模块的形式融合 GIS 环境,使得数据不必流出 GIS 平台就能完成数学方面的定量评价过程。

参考文献:

- [1] 刘传正. 地质灾害勘查指南[M]. 北京:地质出版社,2000.
- [2] 邬伦,刘瑜,张晶,等. 地理信息系统——原理、方法和应用[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [3] 殷坤龙,朱良峰. 滑坡灾害空间区划及 GIS 应用研究[J]. 地学前缘, 2001, 8(2): 279—284
- [4] 罗元华,张梁,张业成. 地质灾害风险评估方法[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [5] 阮沈勇,黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 29(1): 89—92.
- [6] 张梁,张业成,罗元华,等. 地质灾害灾情评估理论与实践[M]. 北京:地质出版社,1998.
- [7] Westen C J, Rengers N, Terlien M T J. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation [J]. Geol Rundsch, 1997, 86: 404—414.
- [8] Westen C J. The modeling of landslide hazards using GIS [J]. Surveys in Geophysics 2000, 21: 241—255.

APPLICATION OF THE GIS-BASED INFORMATION ACQUISITION ANALYSIS IN ASSESSMENT OF LANDSLIDE HAZARDS

GUANG Lei

(Department of Geography, Shenzhen High School, Shenzhen 518040, China)

Abstract: According to the features of landslide hazards, the article proposes a method to assess the hazard of landslides with information acquisition analysis based on GIS. It makes full use of the powerful function of spatial analysis and datum management of GIS. At the same time, the information acquisition is adopted to analysis those data. The result of the assessment is finally showed in graphs, which is a great improvement to the efficiency and accuracy of the landslide hazard assessment.

Key words: GIS; assessment of hazard landslides; information acquisition analysis

作者简介:光磊(1979—),男,山西阳泉人,硕士,毕业于西南师范大学资源与环境科学学院,现主要从事地理信息系统和灾害方面的教学与科研工作,通讯地址 广东省深圳市福田区家园路 深圳市高级中学地理科组,邮政编码 518040, E-mail//guanglei2002@sina.com