

# 滑坡灾害评价原理和方法研究

唐 川

(南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室, 南京 210093; 云南省地理研究所, 昆明 650223)

Jorg Grunert

(德国美茵茨大学地理系, 美茵茨 55099)

**提 要** 本文论述了用于建立判别和定量划分滑坡危险性和灾害地理信息系统的原理和方法。滑坡灾害评价程序包括四个层次: ① 基础信息分析; ② 滑坡危险体评价; ③ 滑坡危险性评价; ④ 滑坡灾害评价。研究区选择在德国波恩地区, 评价结果表明大量复杂的信息能有效地通过 GIS 集成和分析, 确定研究区滑坡危险性和灾害的等级并作出其分区图。本文由地貌学家提出的滑坡灾害评价为规划者和工程师提供了对区域规划和建筑工程非常有价值的技术方法。

**关键词** 滑坡危险性 滑坡灾害 评价方法 地理信息系统

## 1 滑坡灾害评价的基本原理和方法

国际上开展区域滑坡灾害评价和制图研究已有 10 多年历史, 近几年取得了较显著的进展, 评价和制图方法多种多样, 评价的地区数量也明显增加, 以各种方式进行的滑坡灾害评价都是为了达到减轻灾害的目的, 许多方法都成功地识别滑坡的潜在危险性和危害性, 在减灾中发挥了愈来愈大的作用。滑坡灾害评价必须遵循一系列基本原理和程序, 这些原理是指导整个评价工作的理论。本研究进行的滑坡灾害评价严格遵守 Varnes 于 1984 年完成的联合国建议的滑坡危险度分区研究所提出的三个基本原理<sup>[1]</sup>, 即 (1) 过去和现在是预测未来的关键; (2) 引起滑坡的主要条件能被认识; (3) 滑坡危险程度和潜在成灾性能被评估。这里探讨的滑坡灾害评价的框架很大程度与国内外有关滑坡评价的原理和方法是对应的, 其基本思路是根据滑坡发生学原理和成灾规律, 将滑坡灾害评价的框架分为四个主层次进行, 各层次利用地理信息系统 (GIS)、遥感 (RS) 和全球定位系统 (GPS) 进行数据采集、存储、管理、分析和建库。

**层次 1: 基础信息分析** 主要指与滑坡形成直接或间接有关的环境信息, 目的是分析滑坡形成条件和影响发育演化的重要因子, 并建立滑坡灾害评价与制图所需要的孕灾环境、致灾因子和承灾体三方面的数据。孕灾环境方面的数据准备主要有地形图、地质图、土地利用图、岩土工程地质类型图、水文地质图的收集和处理。致灾因子的信息主要是降雨、地震和人类工程活动等有关的图形和数据的准备。承灾体的数据包括评价区的居民点、各类

\* 国家自然科学基金资助项目, 编号 49861001 (Supported by the National Natural Science Foundation of China, No. 49861001)。

来稿日期: 1997-07-15; 收到修改稿日期: 1998-05-19。

建筑物、森林、农田等分布状况及财产价值等级评估的数据。目前,数字化和数据库管理方法常为采集、分析和表征这些基础信息提供了可能性。

层次2:滑坡危险体(danger)评价 本文提出的 danger 是指可用几何学和力学定性表征的危险灾害体,这里特指滑坡体,其评价是根据滑坡发育的历史资料,利用航空遥感技术和GPS开展地面调查,进行滑坡识别、空间分布定位,分析滑坡生成条件、类型特征和活动史,并给出滑坡的详细几何描述和力学机制、演化规律的解释。滑坡危险体评价不包括任何含义的预测,这是该层次评价的重要特征。

层次3:滑坡危险性(hazard)评价 这里的 hazard 定义为在一定时期某一处特殊的 danger 发生的概率。换句话说,danger 的非预测性或有限的预测性是通过对其一特殊现象的概率评价来确定的,那么通过直接评价法(现状法)和间接评价法(成因法)可预测山地斜坡发生滑坡的概率和空间位置,以概率形式或其它定量、定性的方式划分不同危险度的地段和区域,在制图形式上采用不同色彩、符号或两者结合的形式表示出斜坡失稳的不同敏感度地区。具体的评价程序通常分四步:(1)根据滑坡发生的区域环境条件和危险体评价结果,筛选出影响滑坡敏感性最重要的参评因子;(2)利用层次1完成的基础信息图形数据库制作因子分析图,并建立各因子的数据库;(3)应用统计学方法或土力学方法进行区域滑坡危险性定量计算;(4)按照一定的原则和分级标准,进行区域滑坡危险度的划分和归类,并与层次2完成的危险体评价结果印证与修改,最终提交滑坡危险性评价预测图。该层次是滑坡灾害评价最重要的核心内容之一。

层次4:滑坡灾害(risk)评价 本文 risk 定义为  $\text{hazard} \times \text{潜在损失的价值}$ ,这里的损失包括伤亡、环境效应、经济损失等要素。因此,被确定为滑坡危险性大的地区不一定与滑坡灾害严重地区相对应或一致,将滑坡危险性评价结果与人类活动背景要素进行组合分析并体现在灾害评价图上,从而表示出滑坡可能对生命财产和环境的危害程度。目前在这方面所做的研究是有限的,因为要将滑坡危险性评价结果与潜在的灾害损失相结合进行评价是很复杂的难题,其最直观的方法是将土地利用图叠合在滑坡危险性评价图上,并按等级标准进行滑坡灾害分区或区划,从而为滑坡灾害的规范管理和减灾决策制定提出重要的理论指导,这是滑坡灾害评价的最终产品。

## 2 滑坡灾害评价实例分析

本文提出了滑坡灾害评价的完整程序和方法,作者将这套框架在德国波恩地区进行了实践与应用,特别是针对第1、3、4层次的评价实际工作,以帮助认识滑坡灾害评价的完整程序和技术方法。

### 2.1 研究区

研究区位于德国波恩市城区南部莱茵河中游段,地处阿尔卑斯褶皱山地与东北欧古陆台之间的海西块状山地。该区海西褶皱基底上覆有中生代各期沉积,在第三纪末受到强烈抬升,形成巨大的隆起,在隆起的轴部发育南北向断层,中部陷落成南北地堑式谷地,内覆第四纪沉积。研究区广泛分布第三纪渐新世-中新世的粗面凝灰岩;在东南部出露大面积深风化的泥盆纪地层,主要为高塑性粘土和细砂岩,这是波恩地区滑坡活动最敏感的岩类。波恩地区亦是德国主要新构造活动区之一,沿山脉走向发育一系列活动性构造断裂,对区

域斜坡稳定性影响较大, 1926-1-26 和 1992-4-13 发生强烈地震, 震级分别为 5.8 级和 5.9 级, 在 Katzenlochbachtal 以南地区诱发了滑坡。研究区气候属典型温带海洋性气候, 降水的季节分配比较均匀, 年均降水量 870 mm, 大多数滑坡出现在冬季后期和春季的降水期, 例如 1988 年 3 月降水量达 162 mm, 约占全年平均降水量的 18.4%, 莱茵河发生了 50 年一遇的洪水, 在研究区中部 Ippendorf 一带诱发了大面积的滑坡, 造成了灾害。地形坡度对滑坡区域分布亦有明显控制作用, 滑坡多发育在  $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$  斜坡地带, 滑坡后壁最大坡度可达  $40^{\circ}$ ; 低坡度地区 ( $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ) 通常受人为活动的影响, 常发育新滑坡, 老滑坡复活现象普遍。据有关文献资料, 1940 年以前滑坡主要是由开矿引起的, 在近 50 多年来, 随着城市化大面积扩展, 人类活动强度不断加大, 沿坡地密集建筑、筑路切坡加载是波恩地区斜坡变形破坏的重要成因。波恩地区滑坡已有 70 多年活动史, 对房屋、公路造成了不同程度的损坏。据 1994 年 Hardenbicker 航空图象解译和地面调查和 1996 年本文作者对该地区进行的滑坡地貌填图工作, 查明了研究区 (约  $100\text{ km}^2$ ) 共 58 处新老滑坡, 其中大型滑坡 (体积  $> 10\times 10^4\text{ m}^3$ ) 9 处, 中型滑坡 ( $1\times 10^4\text{ m}^3\sim 10\times 10^4\text{ m}^3$ ) 21 处, 小型滑坡 ( $< 1\times 10^4\text{ m}^3$ ) 28 处。根据历史记载和年代测定, 大中型滑坡多为老滑坡, 新滑坡多属于浅层 ( $< 5\text{ m}$ ) 的非圆弧形地壑式滑坡, 深层滑坡则属旋转式多级滑坡和平移式滑坡, 滑坡纵向表面形态呈多级台阶或垄洼波状, 滑带土多呈软塑状, 具有良好的隔水性, 滑坡前缘常有地下水散状渗出, 并形成大面积沼泽地。

## 2.2 基础数据分析

**2.2.1 数据收集** 本文进行的滑坡灾害评价所需的基础数据主要包括: 1:5000 德国基础 (地形) 图、1:25000 地质图、1:5000 地貌图 (局部地段为 1:500~1000)、1:15000 城市规划图、1:25000 水文地质图和近 20 年的降水资料 (1975 年~1994 年)、地震活动资料等。

**2.2.2 数据采集** Grunert (1993), Hardenbicker (1994) 对波恩地区滑坡进行了调查, 完成了 1:5000 滑坡分布图; 针对本研究的目的和内容, 本文作者重点对分布在研究区西部 Ippendorp 河谷两岸坡地的 20 处典型滑坡的活动历史、形态参数、成因类型等 16 个数据项进行了调查与记录, 应用 PC 机的 dBASE 系统建立了滑坡的数据库。

**2.2.3 数据处理** 滑坡调查数据和降雨数据通过表格编辑器录入数据库, 并进行了地形分类和数值化模拟, 主要包括: 地形分类模型 (Barsch & Liedtke, Dikau), 计算机辅助地形模拟、DEM、栅格化 (分辨率  $40\text{ m}\times 40\text{ m}$ )。

## 2.3 滑坡危险性评价

**2.3.1 评价因子敏感性分析** 区域滑坡危险性是由影响斜坡稳定性因素综合评定的, 分析和优选评价因子并确定其贡献率是滑坡危险性评价的基础和关键。针对研究区滑坡主要成因和发育特征, 考虑目前国内常采用的评价因子, 并兼顾因子的可取性和经济性, 初选了 10 个因子参与敏感性分析, 表 1 列出了这 10 个因子, 每个因子划分成 4 至 8 个等级, 由此共产生 67 个属性。一些影响滑坡的重要因子没有包括在内, 例如降水和地震因子在研究区由于呈均匀分布, 难以分级评价, 分别由地下水和构造断裂特征间接地反映对滑坡危险性的影响。

滑坡危险性评价因子敏感性分析采用日本学者 Masamni Aniya 提出的统计学方法对滑坡和网格数据的每个因子属性进行相对频率定量计算。具体步骤是:

表 1 评价因子和属性分类

Tab. 1 Assessment factors and attribute classification

因 子	属 性							
	1	2	3	4	5	6	7	8
坡度/(°)	0~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	>50
高程/m	0~60	60~80	80~100	100~120	120~140	140~160	>160	
方位	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
坡面形态	凸形	凹形	直线形	复合形				
岩土类型	泥盆系	粗面凝	第三系	阶地砂砾	玄武岩	粗面岩		
	风化层	灰 岩	砂 岩	石堆积层				
水位埋深/m	0	0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	>3.0
与断裂带距离/km	0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	>3.0	
与山脊线距离/km	0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0	>3.0	
植被类型	自然林	次生林	人工林	灌木林	草地	裸地		
切坡高度/m	0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	>10		

(1) 利用 GIS 建立评价因子图形数据库 (1:10000), 将每个因子属性以栅格形式表达, 任何一组数据能够储存、提取和调用;

(2) 将每个滑坡范围按比例尺 1:10000 进入 GIS 图形库, 提取滑坡所处位置各因子属性数据并以栅格数据表示;

(3) 分别计算滑坡和栅格每个属性的相对频率

设  $P_{mn}$  代表因子  $m$  的某属性  $n$  的出现频率, 那么滑坡和栅格的属性相对频率分别按下式计算:

$$\text{对滑坡数据: } DP_{mn}(L) = P_{mn}(L) / P_m(L) \quad (2-1)$$

$$\text{对栅格数据: } DP_{mn}(G) = P_{mn}(G) / P_m(G) \quad (2-2)$$

(4) 计算每个因子属性的敏感性

$$PD_{mn} = DP_{mn}(L) / DP_{mn}(G) \quad (2-3)$$

因为栅格数据代表了整个研究区的地面特征, 敏感性则表征了与地面特征相关的滑坡属性的重要性程度,  $PD_{mn} > 1$  说明某因子属性对滑坡形成有影响,  $PD_{mn} < 1$  则说明某因子属性与滑坡无关。

按上述步骤可计算出每个因子属性的相对频率和敏感性。因子敏感性分析结果表明斜坡坡度在  $30^\circ \sim 35^\circ$  的敏感性最高, 这类坡度范围的斜坡最易产生滑坡; 对于高程, 120 m ~ 160 m 是滑坡最敏感地带; 对于斜坡方位, W、NE 向似乎很敏感; 斜坡平面形态说明了凹形坡比其它类型的形态更易产生滑坡; 岩石类型可能是影响滑坡发育的最重要因子, 特别是泥盆纪风化层分布区和第三纪粗面凝灰岩分布区, 滑坡分布密度最高; 地下水水位越接近地面, 中小型滑坡越发育; 切坡高度大于 6 m 地区就有滑坡分布; 距离断裂带距离在 0.5 km ~ 1.5 km 范围的敏感性达到最大值; 计算结果表明研究区的植被类型和距山脊线距离对滑坡发育似乎无意义。根据因子属性敏感性评价, 可进一步计算出每个因子的平均敏感性并按其大小排列出其关联序, 即斜坡坡度( $x_1$ ) > 岩石类型( $x_2$ ) > 与断裂带距离( $x_3$ ) > 地下水位( $x_4$ ) > 坡形( $x_5$ ) > 方位( $x_6$ ) > 地形高程( $x_7$ ) > 人工切坡高度( $x_8$ ) > 植被类型( $x_9$ ) >

与山脊线距离( $x_{10}$ )。因为  $x_8$ 、 $x_9$ 、 $x_{10}$  的  $PD_{mn} < 1$ ，不作为参评因子，对于  $x_1 \sim x_7$  从关联度最小的  $x_7$  开始，给定其起始权数为一个基本单位 1，以此基本单位为公差，依次呈等差级数向关联度增大的方向递增因子的权数，由此计算出各因子的权重分配，见表 2。

表 2 参评因子敏感性和权重分配

Tab. 2 Susceptibility and weight of evaluation factors

因子	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
敏感度	1.99	1.84	1.53	1.38	1.32	1.24	1.07
权重分配	0.25	0.21	0.18	0.14	0.11	0.07	0.04

**2.3.2 区域危险性评价** 根据敏感性分析筛选出 7 个参评因子，并对其进行归一化和数值化处理，每个因子均按 4 级危险度划分，由此可作出相应的因子评价图。滑坡危险性评价的方法除利用 ARC/INFO 提供的叠合分析工具外，又采用了数量化理论的极差分析法<sup>[21]</sup>和多级模糊综合评价法<sup>[19,20]</sup>作为滑坡灾害评价数学模型。极差分析法的优点在于通过对各评价因子的组合分析，能够自动给出总体危险度等级划分界限值，从而避免人为主观对滑坡危险性概率的确定。由于滑坡形成条件的复杂性和灰色成分，各评价因子的影响程度也不尽相同，而且开展大范围、多数量滑坡体危险度评价的标志和界级又是相当不分明，即作为外延是模糊的，各因子的影响很难用经典数学模型加以统一量度，因此，为了使更多的影响因子尽可能真实地参与评价，并克服部分因子间相互连锁给权值分配带来困难，本文也采用了多级模糊综合评价的方法进行评价。这二种数学模型的引入与 GIS 采取握手方式进行，以充分利用 SGI 图形工作站提供的各种硬/软件功能，构成更强的滑坡危险性评价的计算和分析能力，最后对三种方法的评价结果进行频率组合评判，按最大隶属度原则确定每个栅格的滑坡危险度。图 1 是滑坡危险度评价结果，滑坡危险地区主要分布在 Katzen-

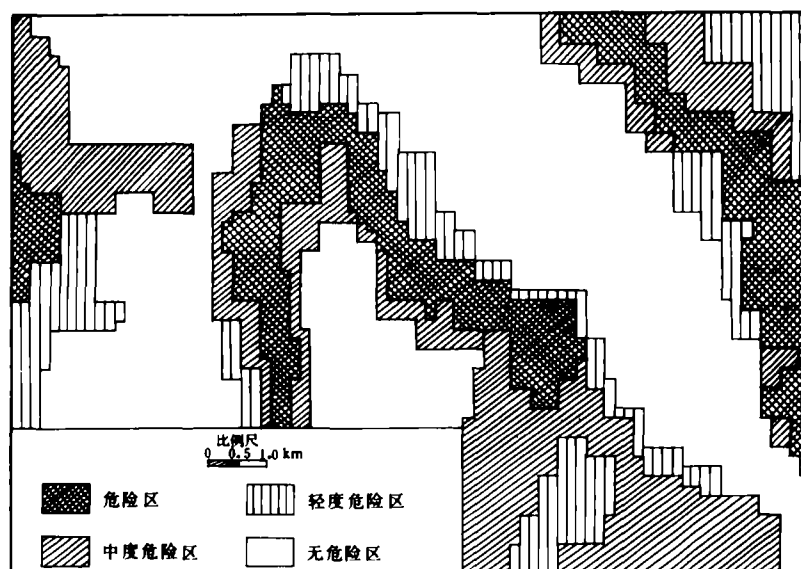


图 1 滑坡危险性评价图

Fig. 1 Assessment map of landslide risk

lochhachtal 和 Ippendorf 东坡地段, 分布面积  $15.9 \text{ km}^2$ ; 中度危险区范围较大, 主要包括 Melbtal、莱茵河右岸坡地和 Kotterforst 东南部地区, 面积  $23.3 \text{ km}^2$ ; 轻度地区包括 Hardtberg 以西地区, 分布面积约  $10.9 \text{ km}^2$ ; 无危险地区约  $49.9 \text{ km}^2$ 。

**2.3.3 区域灾害评价** 波恩是德国政治、文化中心, 人口和建筑物分布密集, 为了较客观地对该地区滑坡潜在灾害作出评估, 必须分析滑坡承受体(区)所拥有的可能遭到滑坡灾体破坏的各种财产价值, 这包括承灾区的人口、固定资产、土地价值等要素。本研究仅选择了铁路、公路、房屋建筑、森林和草场作为承受体, 人口因子因缺乏分布密度的图形数据被略去。按德国标准对这些承灾体进行分类并编制研究区范围资产价值分区图。参照目前国内外大多数学者的观点, 本研究采用滑坡危险性评价图与承受体资产价值图叠合分析方法进行滑坡灾害评价。遵循此原理, 完成了波恩地区滑坡灾害评价图(图2)。潜在高成灾区主要沿国家高速公路和房屋建筑密集区分布, 面积  $13.2 \text{ km}^2$ ; 潜在中成灾区主要沿铁路和州级公路和住宅区分布, 面积  $18.5 \text{ km}^2$ ; 潜在低成灾区分布在部分建筑稀疏区、林区、草场和人行道路, 面积  $20.1 \text{ km}^2$ , 研究区约一半面积属无灾害区。滑坡灾害评价图基本反映了波恩地区滑坡承灾区内财产损失可能性的状况, 为该地区减轻滑坡灾害提供了重要的科学依据。

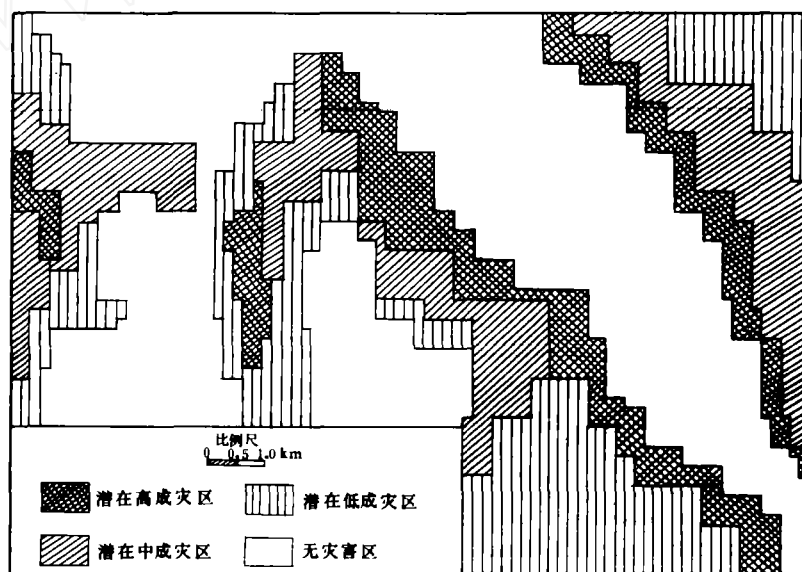


图2 滑坡灾害评价图

Fig. 2 Assessment map of landslide hazards

### 3 结论与讨论

滑坡灾害评价是全面反映灾情, 确定减灾目标, 优化防御措施, 评价减灾效益, 进行减灾决策的重要依据。本文探讨了滑坡灾害评价的四个层次, 完善了区域性滑坡评价预测研究中的一系列基本概念和原理, 将3S技术引入滑坡分析与评价中, 能够更精确地、更经济地评价区域滑坡的危险性和灾害性。通过对德国波恩地区的滑坡灾害评价的案例分析, 更

详细地阐述了地理信息系统在滑坡灾害评价中的特殊功能和评价效果, 尤其是在因子敏感性分析和参评因子优选上充分显示了 GIS 对图形数据和参数数据分析管理的优越性。滑坡危险性评价的数学模型的加载, 强化了 ARC/INFO 的分析作用, 充分发挥了 SGI 图形工作站的软硬件功能, 构成更强的滑坡危险性和灾害性评价的计算、分析能力。

本文探讨的区域性滑坡灾害评价的目的不是以绝对和精确的方式计算斜坡的安全系数, 完成的滑坡危险性和灾害评价预测图不能认为是许多现场调查、观测和勘察的集成, 因为用于评价的大量空间数据和参评因子在某些条件下是非确定性的或不充足的, 这些评价图能够反映出研究区的滑坡潜在活动性和易损性的差异分区, 这比传统的分区评价图更客观地确定滑坡危险度和灾害度。要进一步解决区域滑坡评价的精确性问题, 最重要的是尽可能将地质、地貌数据和工程勘察结合到评价中去, 并且充分意识到地形的动力过程, 尽可能多地摄取岩土工程信息并与之组合到评价中, 尤其是城市环境中, 滑坡灾害评价的社会经济意义更为重大, 对评价的可靠度要求更高。

### 参 考 文 献 (References)

- 1 Alison J R. A GIS for the Prediction of Landsliding Potential and Hazard in Southwest Greece. *Z. Geomorph. N. F.*, 1993, 141~149.
- 2 Aniya A. Landslide-Susceptibility Mapping in the Amahata River Basin. *Japan. - Ann. Assoc. Am. Geogr.*, 1985, 75(1): 102~114.
- 3 Bonnard C, Noverraz F. Instability Risk Maps from the Detection to the administration of Landslide Prone Area. In: Proc. 4th Int. Symp. Landslide. Toronto, 1984. 511~516.
- 4 Brabb E E. Innovative Approaches to Landslide hazard and risk mapping. In: Proc. 4th. Int. Symp. Landslides. Toronto, 1984. 307~324.
- 5 Carrara A. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. In: Earth Surface Processes and Landforms. New York, 1991, 16: 427~445.
- 6 Cooke R U, Doornkamp J C. Geomorphology in environment management, an introduction. Oxford: Clarendon Press, 1974.
- 7 Dikau R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. *Z. Geomorph. N. F.*, 1990, 80: 45~55.
- 8 Grunert J. Geomorphologische Entwicklung des Bonner Raums. *Arb. 2. Rhein. Landesde.*, 1988, 58: 165~180.
- 9 Grunert J, Hardenbicker U. Hangrutschungen in Bonner Raum. *Z. Geomorph. N. F.*, 1991, 89: 35~48.
- 10 Hansen A. Landslide Hazard Analysis. In: Brusden D, Prior DB. Slope Instability. 1984. 523~543.
- 11 Hardenbicker V. Hangrutschungen im Bonner Raum, ihre naturraeumlichen und anthropogenen Ursachen. *Arb. Z. Rhein. Landesde.*, 1994, 64: 105~112.
- 12 Jones D K C. Landslide hazard assessment in the context of development. In: McCall G J H, Laming D J C, Scott S C. *Geohazards - nature and man-made*. 1992: 117~142.
- 13 Varnes D J. Landslide hazard zonation: A review of principle and practice. UNESCO, Paris, 1984.
- 14 Wadge G. The potential of GIS modeling of gravity flows and slop instability. *J. Geographical Information Systems*, 1988, 2(2): 143~152.
- 15 Li Xiling, Tang Chuan. Assessment of Debris Flow Hazard. Beijing: Science Press, 1995. (In Chinese) [刘希林, 唐川. 泥石流危险性评价. 北京: 科学出版社, 1995.]
- 16 Tang Chuan, Wang Ruiyuan, Zhou Juquan. Prediction and Assessment of Landslides and Debris Flows in Yunnan Province. Kunming: Yunnan Press of Sciences and Technology, 1995. (In Chinese) [唐川, 王瑞元, 周钜乾. 云南滑坡泥石流重点区域预测预报和评价方法研究. 昆明: 云南科技出版社, 1995.]
- 17 Tang Chuan, Zhou Juquan. Fuzzy Comprehensive Analysis of Hazard Zoning of Rockfalls and Landslides in Yunnan. *Journal of Soil & Water Conservation*, 1994, 8(4): 48~54. (In Chinese) [唐川, 周钜乾. 云南省崩塌滑坡危险度分区的模糊综合分析法.

- 水土保持学报, 1994, 8(4): 48~54.]
- 18 Zhang Zhuoyuan. International Trend and Development of Landslide Study. *Journal of Geologic Hazards and Control of China*, 1993, 4(3): 96~99. (In Chinese) [张倬元. 国际滑坡研究趋向与进展. 中国地质灾害与防治学报, 1993, 4(3): 96~99.]
- 19 He Zhongxiong. Fuzzy Mathematics and Its Application. Tianjin: Tianjin Scientific and Technical Press, 1984. (In Chinese) [贺仲雄. 模糊数学及其应用. 天津: 天津科技出版社, 1984.]
- 20 Feng Deyi. Fuzzy Mathematics and Its Application. Beijing: Seismological Press, 1982. (In Chinese) [冯德益. 模糊数学及其应用. 北京: 地震出版社, 1982.]
- 21 Yang Jike. Statistics of Mathematics and Physics in Production. Beijing: Science Press, 1986. (In Chinese) [杨纪珂. 生产中的数理统计. 北京: 科学出版社, 1986.]

## THE PRINCIPLES AND METHODOLOGY OF LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT

Tang Chuan

(Nanjing University, Nanjing 210093; Yunnan Institute of Geography, Kunming 650223)

Jorg Grunert

(Department of Geography, Mainz University, Mainz 55099, Germany)

**Key words** landslide hazard, landslide risk, assessment methodology, GIS

### Abstract

To satisfy the increasingly urgent demand for prediction of natural disasters, risk assessment is one of the fundamental tools for helping the decision-making process. Even though individual components of landslide hazard can be difficult of access, the availability of geographic information systems helps in proposing pertinent methods for the mapping of such risk. This paper describes principles and systematic methodology used to established a GIS capable of identifying and quantitatively rating areas of landsliding risk and hazard.

The frame for assessment of landslide hazards includes four levels: (1) basic information analysis; (2) assessment of landslide danger; (3) assessment of landslide hazard; (4) assessment of landslide risk. The study area is located in the southern urban area of Bonn, Germany. Digital factor maps (compiled from a DEM0, landslide distribution, hydrology and infrastructure (e.g. buildings, roads) were stored in GIS. They are many parameters that are considered to be important to landsliding for the study area. In this study we listed 10 causal factors from the initial set for susceptibility analysis of landslides. The factors were measured at both the landslide sites and the grid intersections, and each was divided into between four and eight classes to produce a total of 67 attributes. The FS analysis method developed by Masamn Aaniya in 1986 was employed to determine landslide susceptibility. This analysis involves computation of the relative frequency of each attribute in the landslide and grid data, and division of each relative frequency for the landslide data by that for the grid data. The analysis results create seven important factors for hazard-risk assessment. They are slope angle, rock type, distance to fault zone, groundwater table, slope profile form, slope aspect, elevation. Different weights have been assigned to the factors depending on susceptibility analysis. By overlaying land-use infor-



mation of the study area to hazard map, landslide risk map was created, which depicts relative risk susceptibility of areas to landslides under existing natural condition and human activities. The results of the case study has also demonstrated how large amounts of disparate information can be effectively integrated and analyzed by GIS to provide an output which delineate landslide risk and hazard classes and produce zonation maps.

### 作者简介

唐川, 男, 1961 年生, 研究员。从事滑坡、泥石流灾害、水文工程地质、地貌学等领域研究工作, 已在国内外发表论文 50 余篇。E-mail: tang@public.km.yn.cn