

基于 GIS 的地质灾害区域评价与危险性区划系统研究

黄润秋 许强 沈芳 向喜琼 阮沈勇 罗文强
(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室)

[摘要] 本文主要介绍了如何将现代地理信息系统(GIS)技术与一些用于多变量预测评价的数学模型有机地结合起来,快速高效地进行地质灾害区域评价与危险性区划。主要内容包括崩滑地质灾害区域评价时评价指标的选取和指标体系的建立、评价及预测的数学模型以及具体的实现过程。最后,通过一个实际例子说明该思路和方法手段的可行性、可靠性和先进性。

[关键词] 地理信息系统 地质灾害 区域评价 指标体系

1. 前言

随着对山区资源开发利用的日益加剧,特别是我国目前正在实施的西部大开发战略,山区流域地质灾害已经直接影响到人民的生命财产安全和国家经济的发展。而地质灾害危险性区划是全面反映灾情,确定减灾目标,优化防治措施,提高减灾效益,进行减灾决策的重要依据。

地质灾害区域评价和危险性区划的主要工作方法是在大量收集、分析处理基础地质资料的前提下,运用恰当的数学统计模型,划分出相应的危险性级别,然后从整体上对研究区进行危险性区划。

由于各种地质因素在各个局部区域的差异性和复杂性,要做到较为精确地评价,需将整个研究区域分成若干个小图元,根据各个小区域的不同情况,分别赋予不同的属性,然后才能根据这些属性进行区域评价和危险性区划。这个工作依赖手工准备基础数据工作量十分巨大,所以传统的区域评价手段在实际应用中受到多方面的限制,常常只能根据人为地判断,先分区,后评价,从而又割舍了区域内部本身固有的层次。

而地理信息系统(GIS)技术恰好可以很方便的管理多源数据,生成任意大小的图元,还可以结合专业特点和具体问题进行二次开发用以空间评价预测,并能直观显示评价预测结果。同时,我们开发成功的基于GIS的地质灾害区域评价与危险性区划系统,已经实现了从基础资料的收集与管理 评价因素的选取与定量 评价结果的直观显示流水线作业方式,大大地提高了工作效率,使崩滑地质灾害的区域评价与危险性区划初步达到实用化的程度。

2. 评价预测指标的选取及指标体系的建立

建立指标体系的主要目的主要包括两个方面的内容:一是一般工程技术人员或软件的用户可根据该指标体系确定研究区各因素的取值方法;另一方面,该指标体系可以指导野外地质人员进行地质灾害危险性评价调查时有目的地并按照同一的标准进行地质灾害评价预测因素的调查。

2.1 评价预测指标的选取

影响地质灾害发生的因素非常多,有基础地质因素(地形地貌、地层岩性等),也有外界诱发因素(如地震、暴雨等),还有人为因素(地表和地下开挖、爆破等人类工程活动)。

评价预测因素的选取的基本原则为:从地质和工程地质的角度尽量全面地考虑影响地质灾害发生的所有因素通过广泛地查阅文献资料和对大量崩滑地质灾害实例的分析总结,采

用目标分析方法，首先将地质灾害划分为已有地质灾害和潜在地质灾害两大类，分别对待，建立不同的指标体系。在此基础上再将影响地质灾害发生的因素分为基本因素和诱发因素，然后再进一步细分，直到子目标能够用定量或定性的指标衡量为止(如图 1)。

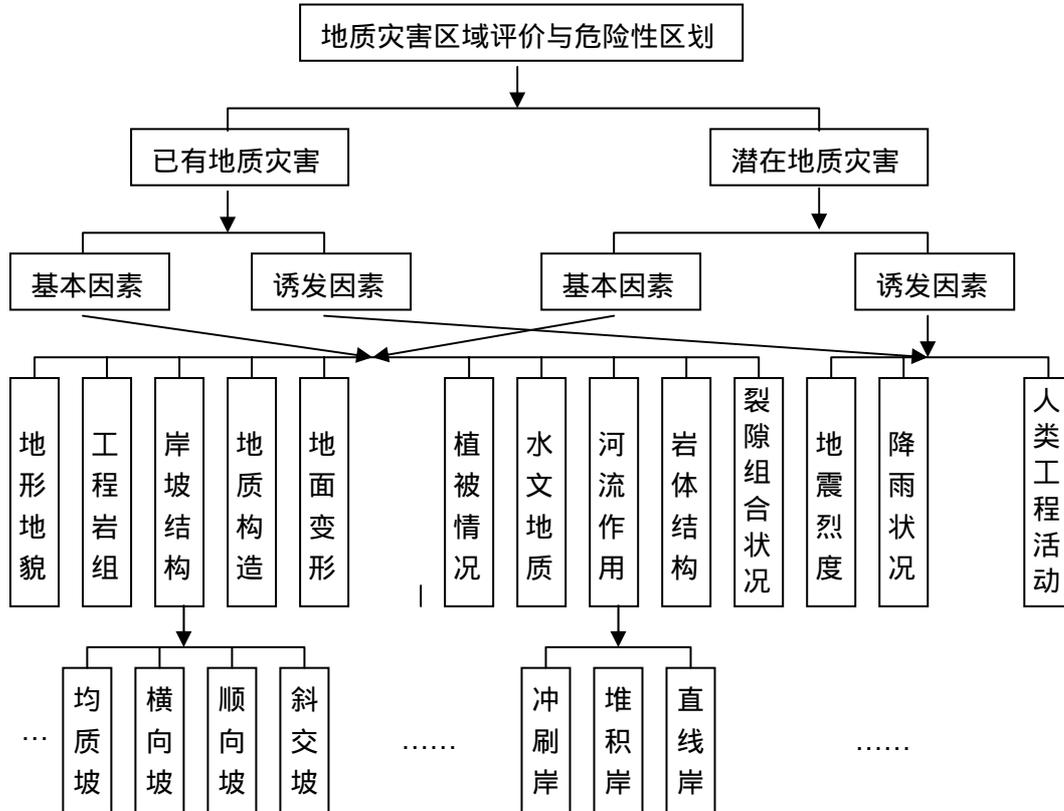


图 1 评价预测指标体系的结构

基本因素是指地质灾害形成的基本条件和内在因素（内因），诱发因素是指影响和诱发地质灾害演化和发生的外在因素（外因）。从图 1 可以看出，基本因素主要为地形地貌、地层岩性、岸坡结构类型、软弱地层状况、构造情况、地面变形情况、植被发育情况、河流动力地质作用、水文地质条件、结构面组合状况、岩体结构(裂隙发育程度)等。诱发因素主要包括降雨状况、地震状况以及人类工程活动强度等。

2.2 评价预测指标的量化

从所选取的评价预测指标可以看出，影响地质灾害发生的各种因素有些是定性的因素，如地层岩性、岸坡结构等；而有些又是测量或通过试验得到的定量数据，如地震烈度、降雨量等。

为了便于数学处理和计算机识别，在实际操作过程中，首先应通过一定的方法，将定性因素定量化。同时，即使是定量数据，由于各个因素间数值差别较大(如地震烈度和降雨量)，若将这种量值差别较大的因素输入同一个数学模型进行分析处理，从数学上讲也会产生较大的误差。

因此，在将各个评价因素输入分析评价的数学模型之前，需对这些因素进行量化处理，其具体处理方法为：（1）对于定性变量，采用专家打分法、统计分析法、信息量法或模糊数学方法进行量化取值。（2）对于定量数据，可采用标准化、规格化、均一化、对数、平方根等数值变换方法统一量纲。

表 1 为利用专家打分法对工程岩组进行定量化的示例。

表 1 利用专家打分法对评价预测因素进行量化的示例

评价指标	基础数据	评价标准	危险性等级	评分值
工程岩组	厚层至块状碳酸岩, 火成岩及变质岩	坚硬岩	不危险	1
	中厚层状砂岩泥岩互层, 偶夹不连续软弱夹层	中等坚硬岩体	轻度危险	2
	泥岩、页岩及薄层状泥灰岩, 软弱面发育且连续性较好	软弱岩体	中度危险	3
	散体状岩体	松散体	重度危险	4

2.3 评价预测指标的筛选与优化

在不同的地区和不同的环境, 上述各评价预测指标对地质灾害的影响程度可能会有较大的差别, 也就是说, 在不同的地区上述各评价预测指标的主次关系可能会不一样。同时, 在大多数情况下, 上述各评价预测因素本身并不是相互独立的, 各因素之间(如地形地貌与岸坡结构、岩体结构与裂隙组合状况、水文地质条件与降雨状况)往往存在着非常复杂的交叉和重叠关系。

因此, 在具体的地质灾害区域评价与危险性区划过程中, 往往并不是所采用的评价因素越多, 评价的效果越好。因为, 所采用评价因素过多, 可能会间接地导致某些因素的重复利用, 相当于人为地加大了该变量的权重。

对于具体研究区域, 如何才能筛选出合理的评价预测指标, 使评价预测结果最大限度地符合当地实际呢? 我们认为解决此问题的关键应该针对不同的地区和不同的实际问题, 确定各个评价因素对地质灾害影响程度(重要性), 最好是先将各个评价因素按重要性程度排序, 最终选取比较重要的因素作为真正的评价预测指标。这种筛选和优化评价因素的方法主要有:

1. 主成分分析

主成分分析是将多个指标化为少数指标的一种统计方法。它可以通过对数学方法对评价因素按对地质灾害的影响程度大小进行排序, 找出主要影响因素。

2. 两两比较法

将 K 个评价指标作两两对比, 列出比较结果表。如指标 B1 比指标 B2 重要, 在 B1 行 B2 列写上 3, 而在 B2 行 B2 列写上 1; 若指标 B1 与 B2 分不出谁重要, 则可在 B1 行 B2 列和 B2 行 B1 列都写上 2。例如, 有 5 个指标的比较结果为:

	B1	B2	B3	B4	B5	\sum	λ
B1	2	1	1	2	3	9	0.18
B2	3	2	1	3	3	12	0.24
B3	3	3	2	3	3	14	0.28
B4	2	1	1	2	3	9	0.18
B5	1	1	1	1	2	6	0.12

\sum 为对该行的求和, λ 为对 \sum 的归一化的结果。根据 \sum 或 λ 的相对大小便可对其重要性进行排序。

3. 工程地质类比法

选用与研究区地质条件类似, 且研究程度较高的地区作类比, 确定研究区的评价指标。

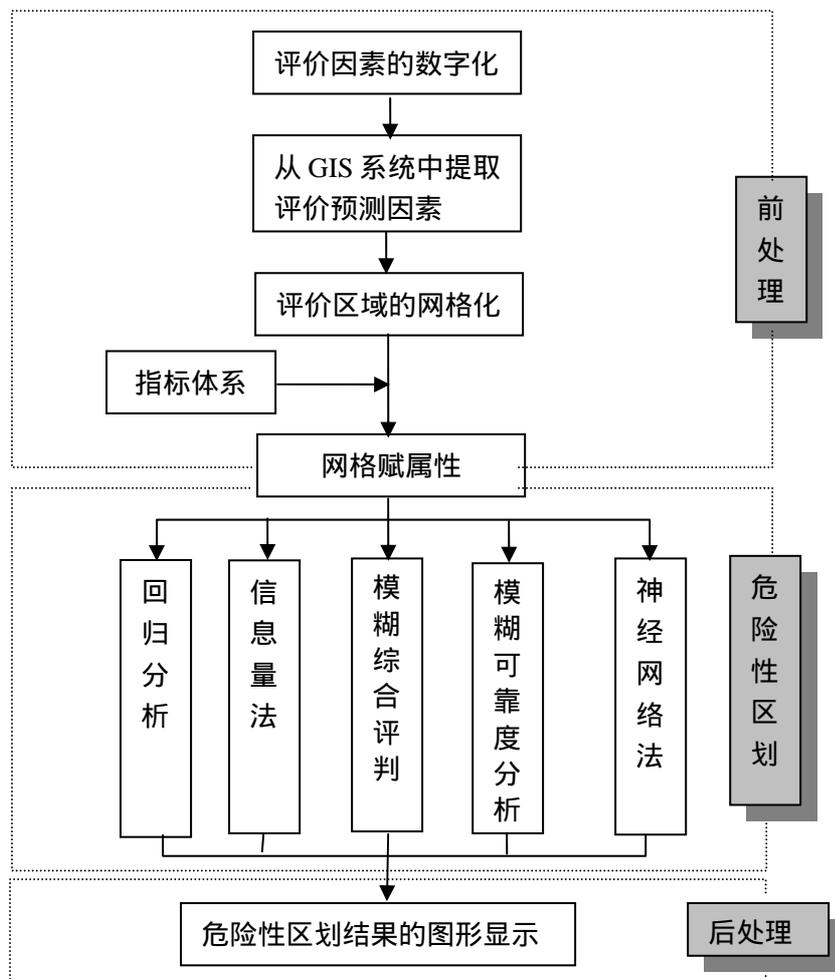
3. 地质灾害区域评价与危险性区划的数学模型

通过查阅大量的文献资料表明，目前用于地质灾害区域评价和危险性区划的数学模型主要有如下几种：逻辑信息法、判别分析法、信息量法、模糊综合评判法、专家评分法、综合评价法、变形破坏指数法、危险概率分析法以及神经网络法等。通过对其适用条件、可操作性、数据的可得性、分析结果的可靠性等多方面的分析比较，选定了回归分析法、信息量法、不确定性分析方法（模糊综合评判和模糊可靠度分析）以及神经网络方法作为地质灾害区域评价和危险性分区的基本数学模型。

4. 基于 GIS 的地质灾害区域评价与危险性区划系统

在上述基础上，我们基于 Windows 和 GIS 操作环境，采用面向对象的编程语言，开发了基于 GIS 的地质灾害区域评价与危险性区划系统。该系统不仅能充分利用了 GIS 本身所具有的强大的空间数据管理与分析功能，还可以直接利用 GIS 的数据资源，方便快捷地实现地质灾害的危险性区划，为地质灾害的勘察、评价、预测、防治提供了一套行之有效的方法技术和适用的工具。该系统的实现途径见图 2。从图 2 可以看出，地质灾害区域评价与危险性区划系统主要包括前处理、危险性区划主模块和后处理三个部分。利用该系统进行地质灾害区域评价和危险性区划需要经历如下几个步骤：

(1) 利用 GIS 软件对研究区基础地质资料（主要为指标体系中所列的各因素）进行数字化处理，对指标体系中所列出的各种评价预测因素最好采用单独的图层，分层数字化。



(2) 根据指标体系对各评价预测因素所对应的数字化图层赋予相应的属性，这实际上

图 2 地质灾害区域评价与危险性区划系统的实现途径

是对各评价预测因素（指标）的初步定量化处理。

(3) 为了提高分析评价精度，获取足够多的评价预测样本，需对评价预测因素图件进行网格化处理和图元裁剪处理，并根据第 2 步的结果对这些细化的网格赋予各类评价因素属性，同时将各个网格的信息(样本的自变量和因变量)存入一专门的数据库。

(4) 在选中危险性区划主模块中的某种方法后，系统将自动从上述专门的数据库中提取分析评价所需信息，评价完毕后将直观地以图形的方式显示评价预测结果。

5. 基于 GIS 的地质灾害区域评价与危险性区划实例

5.1 长江三峡库区新滩—巴东段地质灾害危险性区划

为配合准备新一轮国土资源大调查的“一个计划，四个工程”中的“地质灾害预警工程”，国土资源部 1998 年年底拟在长江三峡库区的新滩—巴东库段（含香溪河）建立地质灾害监测工程试验（示范）区。全区面积为 50Km×50Km，区内现已查明的滑坡崩塌计有 124 个，其中包括链子崖危岩体、新滩滑坡、黄腊石滑坡等国内外知名的地质灾害体。

我们收集了该区 1：50000 地形图、地质图、降雨分布图、地震烈度区划图、城市交通图等图件，利用 MAPGIS 数字化成电子地图，并获取大量野外现场调查资料，分类录入相应图件的属性库，并选取坡度、岩性、岸坡结构类型、已有动力地质现象、地面变形状况、河流地质作用、构造复杂程度、人类工程活动等评价指标。作为试验，在对研究区进行网格化时采用的基本图元大小为 500m×500m，最后实际获取评价样本(图元)4459 个。

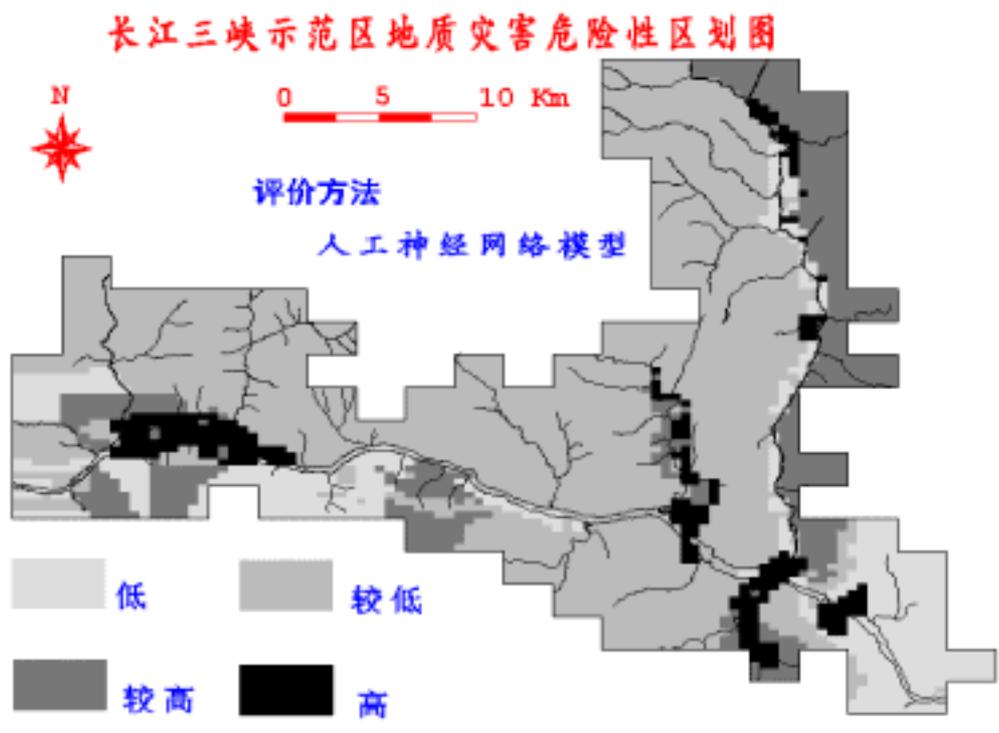


图 3 神经网络模型得出的地质灾害危险性区划结果

通过利用我们所开发的地质灾害区域评价与危险性区划系统中的多种分析评价模型(图 3 为神经网络模型分析结果)进行研究，得出如下结论：

(1) 地质灾害危险性区划结果中稳定性最差的地段一般对应与已有的地质灾害分布位置有较好的对应关系。这说明，地质灾害频发区对应地质灾害最危险区，同时也从另一方面说明评价结果的正确性。

(2) 地质灾害最危险区一般沿河流呈带状分布。

(3) 研究区最危险地段主要有 3 个, 即黄腊石—黄土坡段、香溪河段、秭归河段, 其次在新滩和链子崖附近以及牛口镇附近还分别分布有新滩—链子崖段和牛口段。

(4) 通过现场调研结果表明, 上述分析预测结果与实际情况能够较好地符合, 说明本文所采用的方法和技术手段是可行的, 地质灾害区域评价与危险性区划系统的评价预测结果具有较高的可靠性, 值得进一步推广。

5.2 金沙江溪落渡水电站近坝库区地质灾害危险性区划

金沙江溪落渡水电站位于四川省雷波县与云南永善县交界处的金沙江下游河段的溪洛渡峡谷。电站大坝采用双曲拱坝坝型, 坝高 285m, 库容 110 亿 m^3 , 总装机容量 1440 万千瓦, 是我国拟开发的仅次于三峡的又一座巨型水电站。为进一步论证电站近坝库岸稳定性, 为库区移民搬迁, 地质灾害防治及生态地质环境保护提供合理的规划及决策依据, 对该水电站近坝库区的地质环境进行了基于 GIS 的综合评价, 圈定了地质灾害危险地段。

根据野外调查、有关研究报告和 1:2.5 万的工程地质图, 在对本研究区基础地质资料进行系统分析后, 选取地形坡度、工程地质岩性、地质构造、岸坡结构类型、河流地质作用等为主要评价因素, 将评价预测目标—危险性等级分为不危险、轻度危险、中度危险、重度危险四个等级, 建立了相应的评价指标体系。按照山区流域地质环境评价与地质灾害危险性预测 GIS 系统的工作程式, 在对研究区各种基础图件进行数字化、各种评价因素进行定量

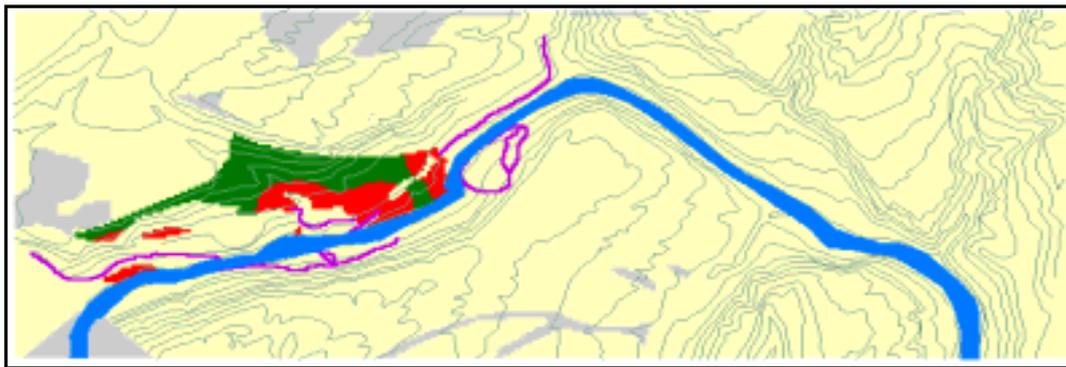


图 4 溪落渡近坝库区(上游段)危险性分区图

化以及对矢量图形进行栅格化处理, 采用数量化理论、信息量法、模糊综合评判、模糊可靠度和神经网络等数学模型进行地质灾害危险性区划。

图 4 和图 5 分别为采用模糊可靠度方法所作出的溪洛渡近坝库区上游段和下游段的地质灾害危险性分区图。现场调研发现, 危险性分区结果与野外调查结果基本相符。

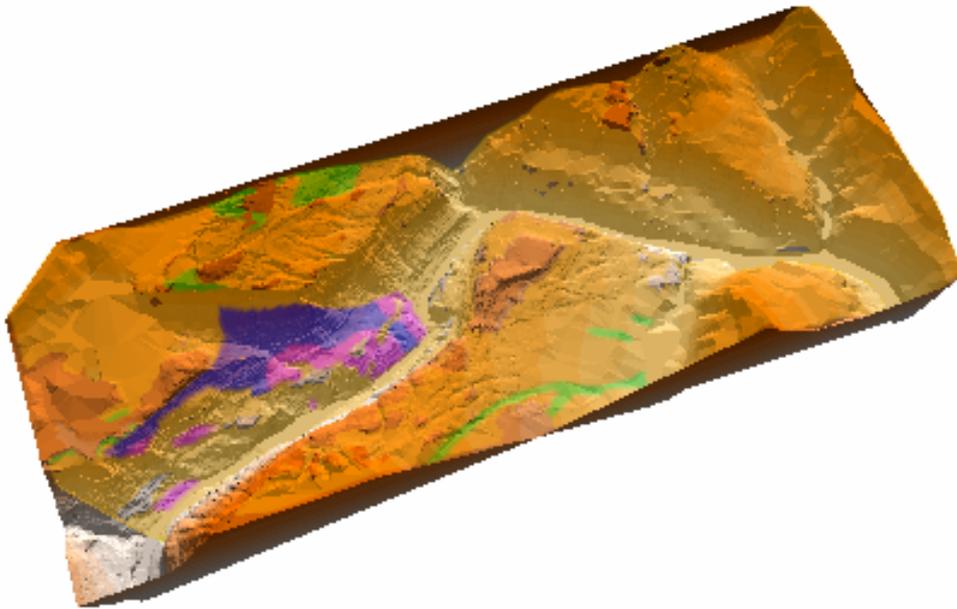


图5 溪落渡近坝库区(下游段)地质灾害危险性分区图

6 结语

通过本文的研究,主要取得以下成果:

(1) 针对我国西南山区流域地理地质环境,形成了一套基于 GIS 的从数据采集 空间属性数据库建立 评价指标体系选择 预测评价模型分析 地质灾害危险性预测与区划,较为完整的山区流域地质环境评价和地质灾害预测的研究技术路线、方法体系和工作流程。

(2) 建立了山区流域地质环境评价和地质灾害预测的基本评价指标体系,并从多个角度提出了其数量化方法。

(3) 基于 GIS 工作平台,研究开发了地质灾害区域评价与危险性区划系统,并在金沙江溪落渡水电工程库区和长江三峡工程库区新滩-巴东段对该系统进行了实际检验。应用结果表明,本文所提出的基于 GIS 的地质灾害区域评价和危险性区划的理论和技術方法可用于实际的地质灾害评价预测,其评价预测结果基本与实际情况相符合。

在完成本项研究工作的过程中,曾得到国土资源部国际合作与科技司、地质环境司以及国土资源部长江三峡地质灾害防治指挥部的大力支持和帮助,在此对他们表示衷心地感谢。

参考文献

- [1] 陈述彭,鲁学军,周成虎编著.地理信息系统导论.1999.北京:科学出版社.
- [2] Wadge G. The potential of GIS modelling of gravity flows and slope instabilities [J]. International Journal of Geographical Information Systems,1988,2(2):143~152
- [3] Gupta R. P. & Joshi B. C. Landslide hazard zoning using the GIS approach ;a case study from the Ramganga Catchment,Himalayas [J]. Engineering Geology ,1990,28(1~2) :119~131
- [4] 沈芳,黄润秋等.地理信息系统与地质环境评价 [J].地质灾害与环境保护,1999,11(1):6~10
- [5] 沈芳,2000,山区地质环境评价与地质灾害危险性区划的 GIS 系统,成都理工学院博士学位论文。
- [6] Mario Mejla-Navarro and Ellen E. Wohl, Geological Hazard and Risk Evaluation Using GIS: Methodology and Model Applied to Medellin, Colombia, *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 1994, XXXI(4): 459-481
- [7] Gupta-R-P; Joshi-B-C, Landslide hazard zoning using the GIS approach; a case study from

- the Ramganga Catchment, Himalayas, *Engineering Geology*, 1990, 28; 1-2, Pages 119-131.
- [8] Campbell-Russell-H; Bernknopf-Richard-L , Forecasting the spatial distribution of landslide risk, *Abstracts with Programs - Geological Society of America*, 1991, 23; 5, Pages 145