

基于信息量模型的达曲库区滑坡危险性分析^{*}

孟令超¹, 卢晓仓², 史晨晓³, 符新阁⁴

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054; 2. 中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院, 贵州 贵阳 550081; 3. 山东省水利勘测设计院, 山东 济南 250013; 4. 黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

摘 要:选取南水北调西线一期工程四川甘孜州达曲库区作为研究区域, 根据库区内已有滑坡的形成原因, 选择坡度、高程、地层、距水系距离和距断层距离等5个影响因素, 利用基于GIS的信息量模型, 实现了达曲库区滑坡灾害危险性区划。其中, 高危险区面积4.02 km², 占0.90%; 中危险区面积30.40 km², 占6.79%; 低危险区面积126.46 km², 占28.23%; 稳定区面积287.04 km², 占64.08%。经过与实际情况对比分析, 区划结果可以作为达曲库区滑坡灾害治理的参考依据。

关键词: 滑坡; 危险性分析; GIS; 信息量模型; 达曲库区; 四川甘孜

中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2009)04-0031-04

0 引言

达曲为南水北调西线一期工程调水河流之一, 是雅砻江的一级支流鲜水河的支流。达曲规划库区靠近鲜水河断裂, 库区内新构造运动强烈, 滑坡、崩塌等地质灾害频繁发生, 对南水北调西线水利工程的施工和运行构成很大的威胁。

信息量模型应用于区域地质灾害评价, 前人做了很多有意义的探索^[1-15], 其主要的思路是通过已知地质灾害成因的分析, 把反映各种影响地质灾害的因素的实测值转化为反映地质灾害的信息值, 按照信息量值的大小评价区域地质灾害的危险性。本文根据南水北调西线工程达曲库区内已知滑坡提供的信息, 应用信息量模型, 借助GIS强大的采集、管理、分析和输出多种海量地学空间信息的能力, 对达曲库区滑坡灾害危险性进行了分析。

1 研究区概况

达曲库区跨越四川省甘孜藏族自治州甘孜县和色达县。库区内河谷高程一般3 580~3 700 m, 两岸高程一般4 200~4 400 m, 属轻微-中等切割的高山区。

达曲库区内出露三叠系和第四系地层, 其中

三叠系主要出露上统的杂谷脑组(T₃z), 岩性以灰色中厚层细粒变质长石石英砂岩、岩屑石英砂岩为主夹灰色薄层粉砂岩、粉砂质绢云板岩; 侏倭下岩组(T₃zw¹), 岩性为岩屑长石细砂岩、长石石英砂岩与深灰色薄层状粉砂质板岩、粉砂质绢云母板岩组成韵律; 侏倭上岩组(T₃zw²), 岩性为青灰色-灰黑色中厚层-厚层状中细粒岩屑石英砂岩、长石石英细砂岩、粉砂岩夹少量的深灰色、灰岩、灰黑色粉砂质板岩、绢云母板岩。库区第四系沉积物的成因类型主要有冲积、洪积、残坡积等, 以冲积为主, 沿达曲河谷分布。

达曲库区处于巴颜喀拉褶皱带的中巴颜喀拉断褶带, 区内褶皱与断层构造发育, 主要沿北西西向展布。

2 基于GIS的信息量危险性分析

2.1 信息量模型

滑坡灾害现象受多种因素的影响, 各种因素所起作用的大小、性质是不相同的。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”。因此, 对区域滑坡灾害预测要综合研究“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, 滑坡灾害产生与

^{*} 收稿日期: 2009-04-16

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-323); 河南省高等学校创新人才培养工程项目及河南省高校杰出科研人才创新工程项目(HAIPURT, 2005KYCX015)

作者简介: 孟令超(1978-), 男, 河南沁阳人, 博士研究生, 从事工程地质、地质灾害等研究. E-mail: meng7839@126.com

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^[16]：

$$I(y, x_1, x_2 \cdots x_n) = \text{Log} \frac{P(y|x_1x_2 \cdots x_n)}{P(y)}, \quad (1)$$

(1)式可写成：

$$I(y, x_1, x_2 \cdots x_n) = I(y, x_1) + I_{x_1}(y, x_2) + \cdots + I_{x_1x_2 \cdots x_n}(y, x_n), \quad (2)$$

式中： $I(y, x_1, x_2 \cdots x_n)$ 为具体因素组合 $x_1x_2 \cdots x_n$ 对滑坡所提供的信息量(bit)； $P(y|x_1x_2 \cdots x_n)$ 为因素 $x_1, x_2 \cdots x_n$ 组合条件下滑坡发生的概率； $P(y)$ 为滑坡发生的概率； $I_{x_1}(y, x_2)$ 为因素 x_1 存在条件下，因素 x_2 对滑坡所提供的信息量(bit)。

信息量模型的最大意义是它具有以极少数值确定参数的能力。一般情况下，由于作用于滑坡灾害的因素很多，相应的因素组合状态也特别多，样本统计数量往往受到限制，故采用简化的单因素信息量方法分步计算，再综合叠加分析，相应的信息量模型改为：

$$I = \sum_{i=1}^m I_i = \sum_i^n \text{Log} \frac{S_0^i/S^i}{A_0/A}, \quad (3)$$

式中： I 为预测区某单元信息量预测值(bit)； I_i 为因素 x_i 对地质灾害所提供的信息量(bit)； S^i 为因素 x_i 所占单元总面积； S_0^i 为因素 x_i 单元中发生地质灾害的单元面积之和； A 为区域内单元总面积； A_0 为已经发生地质灾害的单元面积之和。

2.2 区域内单元网格剖分

研究区范围已发生的滑坡规模都比较小，选定实际距离25×25 m大小的网格对研究区栅格化，共获得网格单元716 679个，所依据的基础图件为1:5万的地形等高线和工程地质图。基于GIS的危险性分析对研究区的划分采用大小相同的单元栅格，所以(3)式中的单元面积就可以转化成以单元个数计算，相应的信息量模型变为：

$$I = \sum_{i=1}^m I_i = \sum_i^n \text{Log} \frac{N_i/N}{S_i/S}, \quad (4)$$

式中： I 为预测区某单元信息量预测值(bit)； I_i 为因素 x_i 对滑坡灾害所提供的信息量(bit)； N_i 为因素 x_i 单元中发生滑坡灾害的单元个数； N 为已经发生滑坡灾害的单元个数； S_i 为因素 x_i 所占单元个数； S 为区域内单元总个数。

2.3 影响因素的选取和信息化处理

达曲库区内已查明的滑坡灾害点共计有9个，滑坡的主要成因是：残、坡、崩积作用产生的松散堆积物，在降水、河流冲刷等触发因素的作用下，使滑动面贯通，形成滑坡，或是在构造作用

下，直接形成贯通的滑动面，在水的触发作用下，形成滑坡。根据以上分析，选取地形地貌(坡度、相对高程)、地质构造(距断层距离)、地层、水的影响(距水系距离)等5个因素评价达曲库区滑坡灾害的危险性。本文没有选择大气降水因素，是因为降水对整个达曲库区有着共同的作用。本次分析也没有选取人类活动因素，是因为达曲库区大部属于牧区，居民稀少，人类活动对边坡稳定性的影响可以不考虑。对9个滑坡灾害点按照提出的影响因素进行统计(表1)。

表 1 研究区滑坡样本统计表

滑坡 编号	坡度	后缘高程 /m	地层	距断层 距离/m	距水系 距离/m
H1	28°~30°	3 800	T ₃ zw ¹	135	120
H2	30°~35°	3 780	T ₃ zw ²	≥500	<50
H3	25°~30°	3 900	T ₃ zw ¹	280	120
H4	35°~40°	3 800	T ₃ zw ¹	160	230
H5	30°~35°	3 650	T ₃ zw ¹	≥500	<50
H6	30°~36°	3 700	T ₃ zw ¹	170	<50
H7	30°~37°	3 700	T ₃ zw ¹	180	180
H8	34°~38°	3 700	T ₃ zw ¹	230	<50
H9	30°~35°	3 700	T ₃ zw ¹	<50	130

一般来说，每种影响因素中各种不同的指标对滑坡的影响程度是不同的。根据达曲库区滑坡灾害调查资料，经过详细分析每个影响因素，对其进行若干不同状态的划分，最终确定18种评价指标作为预测变量(即 $X_1 \sim X_{18}$ ，表2)评价达曲库区滑坡灾害危险性。

表 2 信息量计算表

影响 因素	评价 指标	编号	N_i/N	S_i/S	$\frac{N_i/N}{S_i/S}$	信息 量值
地形 坡度 (°)	<25	X_1	0	0.426 6	0	
	25~30	X_2	0.222 2	0.222 8	0.997 3	-0.001 2
	30~45	X_3	0.777 8	0.334 0	2.328 7	0.367 1
	>45	X_4	0	0.016 6	0	
相对 高程 (m)	<3 700	X_5	0.555 6	0.034 1	16.293 3	1.212 0
	3 700~3 900	X_6	0.444 4	0.190 4	2.334 0	0.368 1
	>3 900	X_7	0	0.775 6	0	
地层	T ₃ zw ¹	X_8	0.888 9	0.353 2	2.516 7	0.400 8
	T ₃ zw ²	X_9	0.111 1	0.472 4	0.235 2	-0.628 6
	其他	X_{10}	0	0.174 4	0	
距断层 距离 (m)	<50	X_{11}	0.111 1	0.026 5	4.192 5	0.622 5
	50~200	X_{12}	0.444 4	0.078 2	5.682 9	0.754 6
	200~500	X_{13}	0.222 2	0.137 8	1.612 5	0.207 5
	>500	X_{14}	0.222 2	0.757 5	0.293 3	-0.532 7
距水系 距离 (m)	<50	X_{15}	0.444 4	0.025 8	17.224 8	1.236 2
	50~150	X_{16}	0.333 3	0.050 4	6.613 1	0.820 4
	150~300	X_{17}	0.222 2	0.073 6	3.019 0	0.479 9
	>300	X_{18}	0	0.849 9	0	

2.4 危险性分析的 GIS 实现

在 GIS 中实现达曲库区滑坡灾害危险性分析的过程如下:

- (1) 数据准备, 将现有地形等高线图和工程地质图等矢量数据转换成 25 × 25 m 的栅格数据。
- (2) 派生数据, 从现有数据集派生出原始成本数据, 包括坡度数据集、相对高程数据集、地层组合数据集、距离断层数据集和距水系距离数据集。
- (3) 重分类各种数据, 根据每个影响因素中确定的预测变量, 建立 18 个预测变量栅格数据层。
- (4) 计算出每个预测变量的信息量值(表 2), 按照(4)式叠加 18 个预测变量栅格图层。

3 研究区危险性区划及结果分析

3.1 研究区危险性区划

滑坡危险性叠加分析的信息量值范围为 -1.162 5 ~ 3.970 7。为了确定危险性分析的区划范围, 将信息量值 4 等分, 分界点处信息量值是 0.120 8、1.404 1 和 2.687 4, 据此将达曲库区危险性划分为稳定区、低危险区、中危险区和高危险区 4 个级别, 相应的信息量值的大小范围: -1.162 5 ~ 0.120 8、0.120 8 ~ 1.404 1、1.404 1 ~ 2.687 4 和 2.687 4 ~ 3.970 7。根据以上的滑坡危险性分级标准, 在 GIS 中创建滑坡危险性区划图(图 1)。

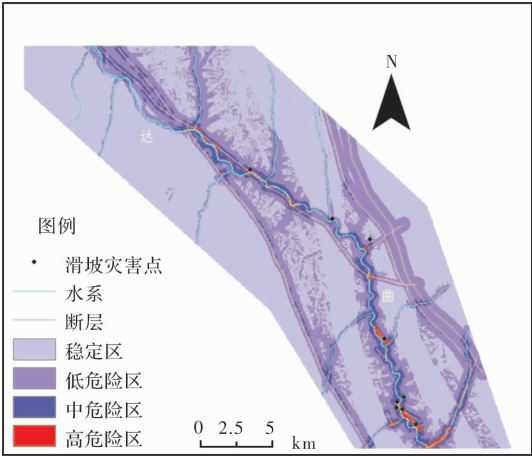


图 1 研究区滑坡灾害危险性区划图

3.2 危险性结果分析

根据统计, 达曲库区共划分为 716 679 个栅格单元, 面积 447.92 km², 其中滑坡灾害高危险区的栅格单元个数为 6 433 个, 面积 4.02 km², 占研究区面积的 0.90%; 中危险区的栅格单元个数为

48 643 个, 面积 30.40 km², 占研究区面积的 6.79%; 低危险区的栅格单元个数为 202 340 个, 面积 126.46 km², 占研究区面积的 28.23%; 稳定区的栅格单元个数为 459 263 个, 面积 287.04 km², 占研究区面积的 64.08%。

分析图 1, 高危险区主要分布在达曲两岸和库区南部冲沟内, 在高危险地区有可能发生比较大的滑坡灾害和频繁发生中小规模的滑坡灾害; 中危险区主要分布在达曲两岸、部分冲沟内和断层与水系的交汇处附近, 在中危险区边坡稳定性差, 在这些地段进行工程建设时, 需要考虑对滑坡灾害的防治; 低危险区沿达曲两岸、冲沟和断层两侧分布, 在低危险区偶尔会有小规模滑坡灾害; 稳定区分布于远离达曲、冲沟和断层的地区, 在稳定区内基本不会发生滑坡灾害。

将达曲库区内已经查明的 9 处滑坡叠加到滑坡危险性区划图(图 1), 发现 6 处滑坡位于高危险区, 占总数的 66.8%; 2 处滑坡位于中危险区, 占滑坡总数的 22.2%; 1 处滑坡位于低危险区, 占滑坡总数的 11.0%。根据以上统计, 已有滑坡的分布位置与达曲库区滑坡危险性区划图基本一致。

4 结论

通过全文的论述与分析得到以下一些初步结论:

- (1) 本文应用信息量模型, 结合 GIS 技术实现了达曲库区滑坡灾害危险性的区划, 其中高危险区面积 4.02 km², 占研究区面积的 0.90%; 中危险区面积 30.40 km², 占研究区面积的 6.79%; 低危险区面积 126.46 km², 占研究区面积的 28.23%; 稳定区面积 287.04 km², 占研究区面积的 64.08%。
- (2) 达曲库区滑坡灾害危险性区划结果, 与库区滑坡灾害的实际情况具有较好的一致性, 因此用信息量模型进行滑坡灾害危险性区划是可行的。
- (3) 区域滑坡灾害危险性分析需要大量数据的支持, 利用 GIS 技术存储、分析这些数据, 显示出比传统方法方便、快捷的优点。

参考文献:

[1] 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, 28(1): 89-92.
[2] 吴益平, 唐辉明. 滑坡灾害空间预测研究[J]. 地质科技情

- 报, 2001, 20(2): 87-90.
- [3] 陈亮, 孟高头, 张文杰, 等. 信息量模型在县市地质灾害调查与区划中的应用研究[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(5): 49-52.
- [4] 张桂荣, 殷坤龙, 刘传正, 等. 基于 GIS 的陕西省旬阳地区滑坡灾害危险性区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(4): 39-43.
- [5] 朱量峰, 吴信才, 殷坤龙, 等. 基于信息量模型的中国滑坡灾害风险区划研究[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 52-56.
- [6] 张桂荣, 陈丽霞, 殷坤龙. 浙江省永嘉县滑坡灾害危险性区划[J]. 水文地质工程地质, 2005, 32(3): 27-31.
- [7] 石菊松, 张永双, 董诚, 等. 基于 GIS 技术的巴东新城区滑坡灾害危险性区划[J]. 地球学报, 2005, 26(3): 275-282.
- [8] 陈剑, 杨志法, 刘衡秋. 滑坡易滑度分区及其概率预报模式[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(13): 2392-2396.
- [9] 光磊. 基于 GIS 的信息量法在滑坡危险性评价中的应用[J]. 地质与资源, 2005, 14(3): 231-233.
- [10] 张桂荣, 殷坤龙. 区域滑坡空间预测方法研究及结果分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(23): 4297-4302.
- [11] 高克昌, 崔鹏, 赵纯勇, 等. 基于地理信息系统和信息模型的滑坡危险性评价-以重庆万州为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(5): 991-996.
- [12] 栾长青, 唐益群, 贾韵洁, 等. 汉江蜀河水电站库水位对岸坡稳定性的影响分析[J]. 灾害学, 2007, 22(1), 65-68.
- [13] 吴彩燕, 乔建平. 基于 GIS 与信息量模型的地层因素对三峡库区滑坡发育的影响关系[J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(6): 138-142.
- [14] 胡金, 李波, 杨艳锋. GIS 在云南鲁甸县地质灾害易发性分区中的应用[J]. 灾害学, 2008, 23(1), 73-75.
- [15] 吴柏清, 何政伟, 刘严松. 基于 GIS 的信息量法在九龙县地质灾害危险性评价中的应用[J]. 测绘科学, 2008, 33(4): 146-147.
- [16] 殷坤龙. 滑坡灾害预测预报[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2004: 27-29.

Analysis on Landslide Hazard Risk in Daqu Reservoir Area Based on Information Value Model

Meng Lingchao¹, Lu Xiaocang², Shi Chenxiao³ and Fu Xinge⁴

- (1. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China;
2. Guiyang Hydropower Investigation Design & Research Institute, Guiyang 550081, China;
3. Shandong Water Resources Survey and Design Institute, Ji'nan 250013, China;
4. Yellow River Engineering Consulting Co. Ltd, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Selecting Daqu reservoir area in Ganzi county of Sichuan, the first phase project of the west route of the South-to-North Water Transfer Project, as a study area, landslide risk zoning is made in Daqu reservoir area by use of information value model based on GIS, according to the available information concerning causes of landslides in this area and 5 affecting factors as slope gradient, elevation, stratum, distance to rivers and distance to faults. The study area is divided into four classes, 4.02 km² as high-risk area accounting for 0.90%, 30.40 km² as mid-risk area accounting for 6.79%, 126.46 km² as low-risk area accounting for 28.23% and 287.04 km² as safe area accounting for 64.08%. In contrast with actual situation, the result can be used as referential basis for landslide control in Daqu reservoir area.

Key words: landslide; risk analysis; GIS; information value model; Daqu reservoir; Ganzi county of Sichuan province