

泥石流危险范围预测模型及在昆明东川城区的应用

李 阔¹, 唐 川²

(1. 云南大学 资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091;

2. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家实验室, 四川 成都 610059)

[摘要] 结合泥石流危险范围模型实验数据, 运用多元回归分析方法探讨了泥石流危险范围预测, 并进行了误差分析。以昆明市东川城区后山3条泥石流沟为例, 运用该模型对其危险范围进行了预测分析, 为东川城区泥石流防灾提供了科学依据。

[关键词] 泥石流; 城市; 多元回归分析; 危险范围; 昆明

[中图分类号] P642.23 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6561(2006)04-0069-04

Application of Prediction Model of Hazard Range about Debris Flows around Dongchuan Zone in Kunming

LI Kuo¹, TANG Chuan²

(1. School of Resource Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, Yunnan, China; 2. State key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610069, Sichuan, China)

Abstract Based on the experiment data of hazard range model of debris flows, this paper set up the prediction model of hazard range of debris flows by application of the methodology of multiple regression analysis and the examines the results by errors of the equations. The studied area is located in Dongchuan zone in Kunming city. Using the prediction model of hazard range of debris flows, this paper calculates and obtains the hazard range of the above three debris flow valleys of the area. The research results provides methodology for the prevention and reduction of hazard.

Key words debris flow; cities; multiple regression analysis; hazard range; Kunming

0 引言

泥石流是威胁山区城市安全的主要自然灾害之一, 提高城市对泥石流的防灾减灾能力是当今西部城市的目标之一^[1-2], 而泥石流危险范围预测是泥石流非工程措施的重要内容。对于泥石流危险范围的预测, 国外有的从统计学、水力学等不同角度进行研究, 建立了泥石流危险范围预测数学模型^[3-4]。有的则强调感性认识, 凭经验通过实地勘

测, 现场确定泥石流危险范围^[5]。中国较早的泥石流危险范围研究是配合泥石流地区公路选线而开展的^[6], 随后提出流域面积单因子预测泥石流危险范围的简易方法^[7]。近年经过不断摸索, 开展泥石流堆积的模型实验并探讨泥石流堆积过程中各因素间的相互关系, 使得泥石流危险范围预测有了新的进展^[8-16]。笔者在前人研究基础上^[7-10], 结合泥石流危险范围模型实验数据, 运用多元回归分析方法建立了泥石流危险范围预测模型, 分析东川城区后山泥石流的危险范围。

[收稿日期] 2006-02-10

[基金项目] 云南省十五科技攻关项目(2001NG44)

[作者简介] 李阔(1982—), 男, 河北辛集人, 硕士研究生, 从事城市灾害研究。

1 建立泥石流危险范围预测模型

1.1 建立实验模型

采用的泥石流危险范围模型数据来自于刘希林等进行的泥石流堆积模型实验^[17]。实验目的是探讨泥石流堆积扇的发展过程和在原堆积扇上泥石流补给总量与泥石流最大堆积长度、堆积宽度、堆积厚度和堆积面积间的关系。该模型实验数据见表 1。

根据上面的实验数据,运用多元回归分析方法,建立了泥石流最大堆积长度、宽度、厚度和堆积面积与泥石流补给量、堆积区坡度、泥石流密度之间的函数关系式。其中泥石流堆积面积与一次泥石流补给量、堆积区坡度、密度间的关系为

$$A=-7\,990.32+0.538\,4V+1\,014.59G+6\,534.20r_c$$

(1)

其负相关系数 $R=0.912\,3$, $F=44.672>F_{0.01}(3,27)=2.96$ 。 F 检验表明,在 $\alpha=0.01$ 水平下,一次泥石流补给量、堆积区坡度和泥石流密度对泥石流堆积面积有特别显著的影响。表明泥石流堆积面积与 3 个影响因子间存在很好的线性相关关系。式(1)表明,泥石流堆积面积 A 与一次泥石流补给量 V 、堆积区坡度 G 和泥石流密度 r_c 为正相关,这与实际情况相符合。

泥石流最大堆积长度与一次泥石流补给量、堆积区坡度、密度间关系为

$$L=465.34+7.165\,8\times10^{-3}V+6.370\,7G-221.26r_c$$

(2)

其负相关系数 $R=0.942\,5$, $F=71.539>F_{0.01}(3,27)=2.96$ 。 F 检验表明,在 $\alpha=0.01$ 水平下,一次泥石流补给量、堆积区坡度和泥石流密度对泥石流最大堆积长度有特别显著的影响,堆积长度与 3 因子间有很好的线性相关关系,建立的方程式也是可信的。式(2)表明,泥石流最大堆积长度与一次泥石流补给量 V 、堆积区坡度 G 为正相关,与泥石流密度 r_c 为负相关,即泥石流最大堆积长度随着一次泥石流补给量和堆积区坡度的增大而增大,随着泥石流密度的增大而减小。

泥石流最大堆积宽度与一次泥石流补给量、堆积区坡度、密度间关系为

$$B=33.924+3.046\,3\times10^{-3}V-1.640\,3G+9.219\,7r_c$$

(3)

表 1 泥石流危险范围模型实验数据

Tab. 1 Experiment Data of Hazard Rang Model of Debris Flows

编号	一次泥石流补给量/ cm ³	堆积区坡度/ °	泥石流密度/ (g·cm ⁻³)	最大堆积长度/ cm	最大堆积宽度/ cm	最大堆积厚度/ cm	堆积面积/ cm ²
1	2 680	5	2.12	61	43	1.9	2 421
2	4 020	5	2.12	74	54	2.0	3 325
3	5 360	5	2.12	82	58	2.1	3 645
4	6 700	5	2.12	89	68	2.4	4 535
5	8 040	5	2.12	94	70	2.3	5 150
6	9 380	5	2.12	113	74	2.1	6 305
7	10 720	5	2.12	123	78	2.1	7 160
8	12 060	5	2.12	128	83	2.0	8 020
9	13 400	5	2.12	126	88	2.4	8 670
10	14 740	5	2.12	126	87	2.6	8 365
11	16 080	5	2.12	145	93	2.4	11 045
12	6 318	1	2.03	60	76	4.0	3 756
13	6 318	2	2.03	70	79	2.9	4 458
14	6 318	3	2.03	78	69	3.6	4 422
15	6 318	4	2.03	81	71	3.1	4 692
16	6 318	5	2.03	85	70	2.7	4 618
17	6 318	6	2.03	96	55	2.4	5 224
18	6 318	7	2.03	106	60	2.1	4 990
19	6 318	8	2.03	105	63	2.3	5 399
20	6 318	9	2.03	113	60	2.2	5 335
21	6 318	10	2.03	124	65	1.9	6 325
22	7 700	5	2.20	47	57	4.5	2 038
23	7 700	5	2.07	74	72	4.0	4 052
24	7 700	5	2.00	90	70	2.5	5 002
25	7 700	5	1.92	110	63	1.9	5 602
26	7 700	5	1.84	132	59	1.7	6 142
27	7 700	5	1.79	149	64	1.9	5 630
28	7 700	5	1.76	172	64	2.0	8 435
29	7 700	5	1.72	158	65	1.8	7 517
30	7 700	5	1.66	185	61	2.3	9 116
31	7 700	5	1.62	230	65	1.9	12 337

注:数据来源于文献[17]

其负相关系数 $R=0.880\,3$, $F=30.976>F_{0.01}(3,27)=2.96$ 。 F 检验表明,在 $\alpha=0.01$ 水平下,一次泥石流补给量、堆积区坡度和泥石流密度对泥石流最大堆积宽度有显著地的影响,堆积宽度与上述 3 因子间有很好的线性相关关系。式(3)表明,泥石流最大

堆积宽度与一次泥石流补给量 V 、泥石流密度 r_c 为正相关, 与堆积区坡度 G 负相关, 即泥石流最大堆积宽度随着一次泥石流补给量、泥石流密度的增大而增大, 随着堆积区坡度的增大而减小。

泥石流最大堆积厚度与一次泥石流补给量、堆积区坡度、密度间关系为

$$D=0.1631-2.5190\times10^{-5}V-0.1881G+1.7168r_c\tag{4}$$

其负相关系数 $R=0.5731, F=4.403>F_{0.01}(3, 27)=2.96$ 。 F 检验表明, 在 $\alpha=0.01$ 水平下, 一次泥石流补给量、堆积区坡度和泥石流密度对泥石流最大堆积厚度有十分显著的影响, 堆积厚度与上述 3 因子间有很好的线性相关关系。式(4)表明, 泥石流最大堆积厚度与泥石流密度 r_c 为正相关, 与一次泥石流补给量 V 、堆积区坡度 G 负相关, 即泥石流最大堆积厚度随着泥石流密度的增大而增大, 随着一次泥石流补给量、堆积区坡度的增大而减小, 这符合实际情况。

1.2 预测模型的误差分析

在建立了泥石流危险范围预测模型的基础上, 通过 F 检验表明该模型中的 4 个方程式是可信的。接着又对模型进行了自检验误差分析, 通过模型计算得到的估计值与实验中的观测值相对照, 分析二者间的误差, 从而检验该模型是否符合要求(表 2)。

表 2 表明, A 的平均相对误差为 -0.53%, L 为 1.27%, B 为 0.70%, D 为 3.44%。这表明 A 、 L 、 B 、 D 都能很好的满足目前泥石流危险范围的精度要求。表明该模型能很好的对泥石流危险范围进行预测, 其预测结果是可信的。

1.3 预测方法应用

东川城区主要受石羊沟、深沟的直接威胁, 曾暴发过规模较大的泥石流灾害, 冲毁、淤埋沿沟一带的街道和房舍, 毁坏大片农田。针对其中对东川城区影响较直接且较大的深沟、石羊沟与泥拉姑沟进行危险范围预测, 其基本特征数据见表 3, 预测结果见表 4。

由表 4 可以看出, 深沟危险范围最大, 石羊沟次之, 泥拉姑沟最小, 这正与实际情况相符。泥拉姑沟虽然只是深沟的支沟, 但其危害不容忽视。东川城区在这 3 条沟的危险范围影响下, 历史上曾多次成灾。20 世纪 60 年代以来, 3 条沟泥石流活动更趋频繁, 每年暴发小型泥石流多次, 有的年份还发生了大型泥石流, 造成了大量的财产损失和人员

伤亡。近年来, 东川在 3 条沟上建筑了拦砂坝和排导槽, 因此小型泥石流对市区一般不会造成损失。根据笔者考察, 目前深沟、石羊沟形成区松散固体物质储备量明显增多, 其上游崩塌滑坡发育, 一旦遇到特大暴雨过程, 两沟都可能形成泥石流, 严重威胁东川城区的安全。

表 2 方程组的自检验误差

Tab. 2 Self Examined Errors of the Equation

编 号	A 计 算值	A 相对 误差/%	L 计算 值/%	L 相对 误差/%	B 计算 值/%	B 相对 误差/%	D 计算 值/%	D 相对 误差/%
1	1 573.94	-34.99	47.33	-22.41	53.43	24.26	2.79	46.84
2	2 415.19	-27.36	56.93	-23.07	57.51	6.50	2.76	38.00
3	3 256.44	-10.66	66.53	-18.87	61.59	6.19	2.73	30.00
4	4 097.69	-9.64	76.13	-14.46	65.68	-3.41	2.69	12.08
5	4 938.95	-4.10	85.74	-8.79	69.76	-0.34	2.66	15.65
6	5 780.20	-8.32	95.34	-15.63	73.84	-0.22	2.63	25.24
7	6 621.45	-7.52	104.94	-14.68	77.92	-0.10	2.59	23.33
8	7 462.70	-6.95	114.54	-10.52	82.00	-1.20	2.56	28.00
9	8 303.95	-4.22	124.15	-1.47	86.08	-2.18	2.52	5.00
10	9 145.21	9.33	133.75	6.15	90.17	3.64	2.49	-4.23
11	9 986.46	-9.58	143.35	-1.14	94.25	1.34	2.46	2.50
12	3 822.31	1.77	67.83	13.05	70.24	-7.58	3.30	-17.50
13	4 043.68	-9.29	74.20	6.00	68.60	-13.16	3.11	7.24
14	4 256.04	-3.55	80.57	3.29	66.96	-2.96	2.92	-18.89
15	4 486.41	-4.38	86.94	7.33	65.32	-8.00	2.74	-11.61
16	4 707.77	1.94	93.31	9.78	63.68	-9.03	2.55	-5.56
17	4 929.14	-5.64	99.68	3.83	62.04	12.80	2.36	-1.67
18	5 150.50	3.22	106.05	0.047	60.40	0.67	2.17	3.33
19	5 371.87	-0.5	112.42	7.07	58.76	-6.73	1.98	-13.91
20	5 593.23	4.84	118.79	5.12	57.12	-4.80	1.80	-18.18
21	5 814.60	-8.07	125.16	0.94	55.48	-14.65	1.61	-15.26
22	3 970.03	9.48	65.60	39.57	69.46	21.86	2.81	-37.56
23	5 197.66	28.27	94.36	27.51	68.26	-5.19	2.58	-35.50
24	5 858.69	17.13	109.85	22.06	67.62	-3.40	2.46	-1.60
25	6 614.15	17.69	127.55	15.95	66.88	6.16	2.32	22.11
26	7 369.62	19.99	145.25	10.04	66.14	12.10	2.19	28.82
27	7 814.78	39.29	156.32	4.91	65.68	2.63	2.10	10.53
28	8 125.08	-3.67	162.95	-5.26	65.40	2.19	2.05	2.50
29	8 502.81	13.11	171.80	8.73	65.03	0.05	1.98	10.00
30	9 069.41	-0.51	185.08	0.043	64.48	5.70	1.88	-18.26
31	9 447.14	-23.42	193.93	-15.68	64.11	-1.37	1.81	-4.74

表 3 深沟、石羊沟、泥拉姑沟特征参数

Tab. 3 Parameters of Shengou Shiyanggou and Nilagugou

沟 名	一次泥石流 补给量/ m^3	堆积区 坡度/ $(^\circ)$	泥石流密度/ $(\text{t} \cdot \text{m}^{-3})$
深沟	90 000	9. 8	1. 50
石羊沟	78 000	14. 5	1. 60
泥拉姑沟	45 100	7. 3	2. 00

注: 数据来源于东川泥石流防治研究所. 云南东川城市后山泥石流综合治理规划, 1996

表 4 深沟、石羊沟、泥拉姑沟危险范围预测结果

Tab. 4 Predicted Results of the Hazard
Range in Shengou Shiyanggou and Nilagugou

沟 名	泥石流危险 范围/ m^2	最大堆积 长度/ m	最大堆积 宽度/ m	最大堆积 厚度/ m
深沟	60 209. 96	840. 80	305. 85	1. 37
石羊沟	59 171. 16	762. 63	262. 50	1. 78
泥拉姑沟	36 766. 43	392. 50	177. 78	1. 09

2 结语

(1)该泥石流危险范围预测模型运用数理统计方法探讨了泥石流沟 7 个要素间的数学关系, 深化了定量性泥石流危险性研究, 有利于对泥石流的进一步认识。

(2)对昆明东川城区后山 3 条泥石流沟的计算和分析, 可以看出该模型能客观地反映泥石流的实际灾情, 为减灾决策者提供比较可靠地决策依据, 其预测结果可以作为中、短期灾害防治规划的基本依据。

(3)模型中逻辑关系清晰、计算简便, 比较适于基层减灾工作使用。

泥石流是一个复杂系统, 影响其危险范围的因素众多, 选用了其中最主要的因子进行分析, 但还有不尽完善的地方, 希望能在以后的工作中得到进一步改善。

[参 考 文 献]

[1] 金 磊. 城市灾害学原理[M]. 北京: 气象出版社, 1997.

[2] 蒋 维, 金 磊. 中国城市综合减灾对策[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.

[3] 池谷号, 米尺谷, 诚 悦. 土石流危险区域の設定 に関する研究: 第二报[J]. 土木技术资料, 1979, 21(9): 46 - 50.

[4] 高桥保. 土石流の堆积危险范围の预测[J]. 自然灾害科学总合 ツソボツテム, 1980, 17: 133 - 148.

[5] Hunger O, Morgan C, Vandine F D et al. Debris Flow Defenses in British Columbia[J]. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, 1987, 7(2): 201 - 222.

[6] 甘肃省交通科学研究所, 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 泥石流地区公路工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1981.

[7] 刘希林, 唐 川. 泥石流堆积扇泛滥范围的流域背景预测法[C] // 中国减轻自然灾害研究会. 全国减轻自然灾害研讨会论文集. 北京: 气象出版社, 1992.

[8] 刘希林, 唐 川, 朱 静, 等. 泥石流危险范围的流域背景预测法[J]. 自然灾害学报, 1992, 1(3), 56 - 67.

[9] 刘希林. 泥石流堆积扇危险范围雏议[J]. 灾害学, 1990, 5(3), 86 - 89.

[10] 刘希林. 论泥石流堆积扇危险范围的确定方法[C] // 中国减轻自然灾害研究会. 全国减轻自然灾害研讨会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.

[11] 范 文, 刘雪梅, 高德彬, 等. 主成分分析法在地质灾害危险性综合评价中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2001, 23(4): 53 - 57.

[12] 唐 川. 云南省地理研究所滑坡泥石流研究 10 年[J]. 云南地理环境研究, 1998, 10(增刊): 33 - 40.

[13] 高德彬, 倪万魁, 郭社锋. 延安市凤凰山东麓滑坡危险斜坡的变形特征及稳定性分析[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 54 - 57.

[14] 刘希林, 唐 川, 陈 明, 等. 泥石流危险范围的实验研究[C] // 中国水土保持学会. 首届全国泥石流滑坡防治学术会议论文集. 昆明: 云南科学技术出版社, 1993.

[15] 江兴旺, 文丽敏, 张 骏. 基于兰利法的泥石流临界雨量实验研究[J]. 地球科学与环境学报, 2000, 22(4): 61 - 64.

[16] 朱 静, 师玉娥. 利用 GIS 技术实现山洪易泛区地貌学判识的实践探讨——以云南省为例[J]. 云南地理环境研究, 2004, 16(3): 1 - 5.

[17] 刘希林, 唐 川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995.