

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.05.05

泥石流致灾因子敏感性分析 ——以四川都江堰龙溪河流域为例

李彩侠¹, 马煜^{1,2}, 何元勋²

(1. 成都理工大学工程技术学院, 四川 乐山 614000;

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

摘要: 泥石流是我国山区常见的地质灾害, 为了定量研究泥石流灾害致灾因子的敏感性并确定各个致灾因子的权重大小, 本文通过野外调查、数理统计法和层次分析法对龙溪河流域泥石流灾害的主要致灾因子进行定性规律分析和定量权重计算。结果表明: (1) 泥石流灾害的发生与致灾因子的敏感性区间主要定性表现为: 流域面积小于 1 km² 以内、高差在 200 ~ 400 m 范围内、距断层距离为 0 ~ 2 km、山坡坡度 30° ~ 50°、岩性为砂岩、纵比降在 400‰ ~ 600‰ 等, 其泥石流发生与致灾因子具有相关性, 且相关性较好; (2) 选取了泥石流灾害致灾因子中的历史因子、地形因子、地质因子和降雨因子等 4 个一级因子以及流域面积、高程、相对高差、纵坡比、地层岩性等 14 个二级因子建立层次分析模型和计算判断矩阵, 定量计算权重值得出降雨, 流域面积, 地层岩性, 纵比降等四个因子对泥石流发生的敏感性最强。这一结论具有普遍性, 可对该区域泥石流的易发性, 危险性, 风险性评价提供一定的数据参考意义。

关键词: 致灾因子; 层次分析法; 权重; 敏感性; 泥石流

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)05-0032-08

Sensitivity analysis of debris flow to environmental factors: a case of Longxi River basin in Dujiangyan, Sichuan Province

LI Caixia¹, MA Yu^{1,2}, HE Yuanxun²

(1. The Engineering & Technical College of Chengdu University of Technology, Leshan, Sichuan 614000, China; 2. The State Key Laboratory of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Debris flow is a common geological hazard in mountainous areas. In order to quantitatively study the sensitivity of disaster-causing factors of debris flow and determine the weight coefficient of each hazard factors. The field investigation, mathematical statistics and analytic hierarchy process were used to study qualitatively and quantitative weights of hazard-causing factors in Longxi River Basin. The results show that: (1) the qualitative analysis between the occurrence of debris flow disasters and the susceptibility factors of hazards are as follows: the watershed area is less than 1 km², the height difference is within 200 to 400 m, the distance from the fault is 0 to 2 km, and the slope of the slope is 30° ~ 50°, the lithology is sandstone, the vertical ratio drops between 400‰ to 600‰, etc., the occurrence of debris flow disasters is well relevance to its main disaster-causing. (2) Four primary factors, including historical factor, topographic factor, geological factor

收稿日期: 2020-02-15; 修订日期: 2020-04-09

基金项目: 四川省教育厅科研基金重点项目(18ZA0076); 成都理工大学工程技术学院青年基金(C122018022, C122017009)

第一作者: 李彩侠(1986-), 女, 陕西渭南人, 地质学专业, 讲师, 硕士, 主要从事地质学和地质工程方面的教学和科研工作。E-mail: licaixiac@126.com

通讯作者: 马煜(1984-), 男, 陕西杨陵人, 地质工程专业, 副教授, 博士生, 主要从事地质工程和岩土工程方面的教学和科研工作。E-mail: mayu.2008@hotmail.com

and rainfall factor, as well as 14 secondary factors, such as watershed area, elevation, relative elevation difference, longitudinal slope ratio and stratigraphic lithology, are selected to establish the analytic hierarchy process model and the calculation judgment matrix. Obtains the weight value of disaster-causing factors on debris flow occurrence, which indicates that the four factors of rainfall, watershed area, stratigraphic lithology, and aspect ratio are the most sensitive to debris flow occurrence. This conclusion provides some data reference significance for the susceptibility, risk, and risk assessment of debris flow in the region.

Keywords: disaster-causing; AHP; weight coefficient; sensitivity; debris flow

0 引言

泥石流灾害对我国城镇建设、经济发展和生态环境都会产生不利的影响,为了降低这种不利影响,泥石流的易发性、危险性和风险性(“三性”)评价体系逐渐发展并成熟起来,但各种评价都是基于泥石流本身所具有的地形、降雨、地质等基本因素为基础的,泥石流的形成是多种内外因素耦合的结果,这使得控制泥石流形成的因素具有复杂性和差异性,在泥石流“三性”评价中,确定影响因素的权重就变得非常重要,它直接影响到评价结果的合理性和真实性。因此研究泥石流致灾因子的相对敏感性对泥石流的“三性”评价有一定的指导意义。

我国学者对泥石流易发性因子的选取及其权重的确定经历了由定性到定量的过程。20世纪90年代以前,我国在泥石流方面的发展起步比较晚,认识还不够成熟,地质资料匮乏,主要采用定性的专家打分法^[1-2],刘希林等^[3]学者向全国41家单位96位专家进行了调查,取得了一定的成果。但专家打分法在地质灾害易发性影响因子的量化、各因子之间及同一因子不同特征值之间对地质灾害易发性的影响大小确定等方面仍然存在诸如人为因素干扰等缺陷,即个人主观性太强。为了克服主观性和定性带来偏差大的影响,对因子指标的权重逐渐向量化发展,但大多都是基于数学理论,如层次分析法^[4],确定系数法^[5]、逻辑回归法^[6]等,其中确定性系数法可较好地解决评价因子内部不同特征对地质灾害易发性影响的敏感程度,但却忽略了各因子之间关系的复杂性及其对地质灾害易发性影响的差异性。而层次分析法可较好地确定地质灾害易发性影响因子之间的相互权重大小且层次关系明确,操作简便,使用性强,在地质灾害因子重要性选取方面使用较广。随着GIS技术的发展,凭借GIS图形处理和数据管理功能使得计算结果更加精细化,通过叠加分析可以更好地将研究区内地质灾害发育环境接近实际情况,再加之层次分析法操作简便,使用性

强等优点,诸多学者将GIS和层次分析法相结合在获取致灾因子权重和“三性”评价方面取得了较好的结果。本文以龙溪河流域45条泥石流沟为例,在野外调查和GIS分析的基础上首先对泥石流发生的致灾因子进行定性规律分析,然后利用层次分析法对泥石流每个因子在各层次中的占比权重进行定量分析,其结果为该地区泥石流的易发性、危险性和风险性评价提供重要的参考,同时对致灾因子权重获取、风险区划、防灾减灾工作有着重要的基础意义。

1 研究区概况

研究区山高坡陡,构造复杂,近年来泥石流发生频率和数量呈现增高趋势。据资料记载,2008年5月12日之前,该流域发育5条泥石流灾害^[7],面密度为0.05条/km²。2008年5月12日、2008年6月24日、2008年9月25日、2009年7月17日等相继有13条泥石流沟暴发泥石流^[8],面密度为0.14条/km²。2010年8月13日在最大75 mm/h强降雨下发生泥石流灾害45处,掩埋冲毁公路4 240 m,冲毁河堤3 130 m,受损233栋民房,造成经济损失 5.5×10^8 元(图1、表1),面密度为0.46条/km²。

研究区龙溪河流域位于四川省都江堰市龙池镇境内,属岷江一级支流。气候温和,降水充沛,属中亚热带湿润季风区。据都江堰近50年(1957—2006)气象资料显示,该区极端高温35℃,极端低温-4.1℃,年均温度12.2℃,年均降水量1 134.8 mm,5~9月降水量占年总降水量的80%以上。

研究区内地势由南到北呈升高趋势,最低海拔位于南端紫坪铺水库840 m,最高点海拔位于北端龙池岗山顶3 250 m,地形上属低-中山区,地貌上受强烈构造控制,从南到北依次为侵蚀堆积地貌、侵蚀剥蚀低山地貌、侵蚀中山地貌。

研究区内新构造运动强烈,发育映秀—北川断裂和飞来峰构造等活动性断裂。这些构造和断裂使该区域河谷下切,地表抬升。研究区出露地层岩性主要为

分布在映秀-北川断裂北部的元古界花岗岩、映秀-北川断裂附近的震旦系安山岩、映秀-北川断裂南侧的二叠系和石炭系灰岩、三叠系泥岩和砂岩及遍布全区域的第四系残坡积物、崩坡积物及冲洪积物。

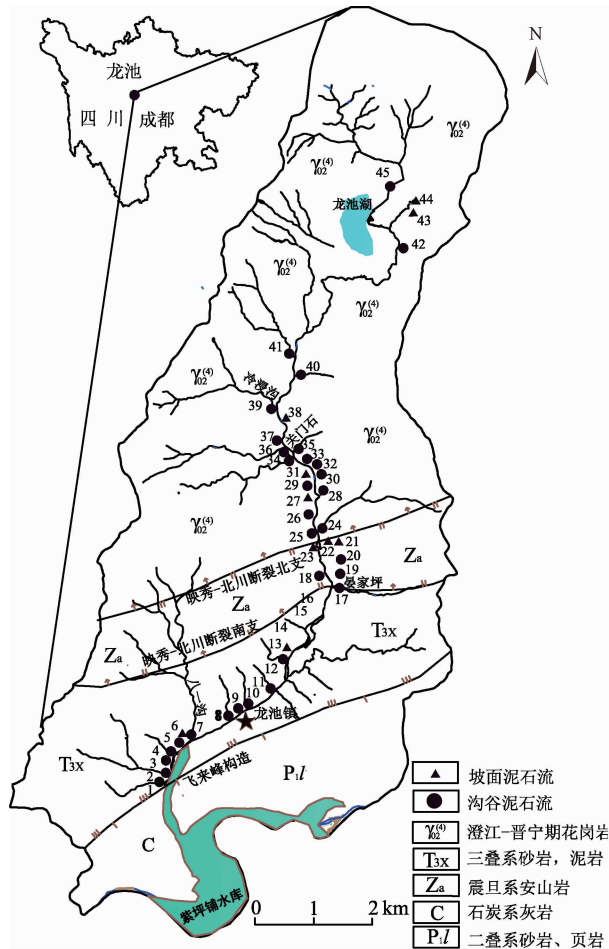


图1 龙溪河流域泥石流灾害点分布图

Fig.1 The catchment of Longxi River and the distribution of debris flows

2 泥石流与致灾因子关系

泥石流的发生是该研究区自然和人为因素的综合作用影响,本文从泥石流地形条件、地质条件、降雨条件等自然条件出发,在现场调查的基础上结合数理统计分析,获取泥石流发生和致灾因子的相关性。地形条件中选取流域面积、高差、山坡坡度、主沟道坡向和纵比降5个因子;地质条件中选取岩性、距断裂带距离2个因子;降雨条件中选取雨季月均降雨量1个因子。

流域面积的大小反映了汇水区域和浅表层松散物源量的多少。较大流域面积会给泥石流的发生提供较多物源和水源。但较大流域面积的泥石流沟往往主沟长度较长,纵比降比较小,两侧山坡坡度较缓,因此流

域面积大小并不能完全反映发生泥石流的难易程度,还应和其它地形因子综合考虑。图2显示该流域73.7%泥石流发生在小于1 km²的较小流域面积,可见较小的流域面积汇水区更容易形成泥石流。

表1 龙溪河流域泥石流主要因子值

Table 1 Parameter of debris flow in the in the Longxi

River Area							
编号	沟名	流域面积/km ²	纵比降/‰	形成区高差/km	沟道坡向	距断裂带距离/km	岩性
1	王家沟	3.40	0.305	0.45	东	2-3	砂/泥
2	磨刀沟	2.89	0.384	0.90	东南	2-3	砂/泥
3	三神公沟	0.11	0.532	0.19	东南	1-2	砂/泥
4	农家乐沟	0.24	0.519	0.20	东南	1-2	砂/泥
5	燕子窝沟	0.08	0.470	0.16	东南	1-2	砂/泥
6	公家沟	—	0.483	0.20	东南	1-2	砂/泥
7	八一沟	8.63	0.361	1.43	南	1-2	砂/泥
8	煤炭坪	0.26	0.425	0.31	东南	1-2	砂/泥
9	簸箕沟	0.09	0.434	0.20	东	1-2	砂/泥
10	曹家岭沟	0.14	0.428	0.30	东	1-2	砂/泥
11	栗子坪	0.15	0.430	0.30	东南	1-2	砂/泥
12	麻柳沟	1.22	0.420	0.65	东南	<1	砂/泥
13	水井槽	—	0.739	0.11	东南	<1	砂/泥
14	黄央沟	0.88	0.521	0.68	东南	<1	砂/泥
15	水打沟	0.39	0.494	0.32	东南	<1	砂/泥
16	白果堂	—	0.414	0.19	东	<1	砂/泥
17	水鸠坪沟	2.74	0.438	1.00	西	<1	安山
18	麻柳槽沟	0.91	0.478	0.43	东南	<1	安山
19	蒋家沟	0.39	0.502	0.53	西南	<1	安山
20	陈家坡	0.05	0.553	0.20	西南	<1	安山
21	廖家沟	—	0.533	0.21	西	<1	安山
22	黄柏槽	—	0.373	0.23	西	<1	安山
23	沙子坪	—	0.650	0.10	东南	<1	安山
24	碱坪沟	3.35	0.395	0.90	西南	<1	花岗
25	李泉太沟	0.30	0.620	0.45	东	<1	花岗
26	木瓜园沟	0.58	0.583	0.60	东	<1	花岗
27	桂花树	—	0.589	0.27	东	<1	花岗
28	核桃树沟	0.26	0.614	0.40	西南	1-2	花岗
29	马家屋脊	0.34	0.421	0.30	东	1-2	花岗
30	核桃树3#	0.16	0.640	0.41	西南	1-2	花岗
31	覃家屋脊	—	0.414	0.17	东	1-2	花岗
32	峰洞岩1#	0.26	0.703	0.22	西南	1-2	花岗
33	峰洞岩2#	0.11	0.623	0.21	西南	1-2	花岗
34	纸厂沟	2.12	0.452	1.25	东	1-2	花岗
35	孙家沟	2.23	0.468	0.86	西南	1-2	花岗
36	双养子沟	1.94	0.408	1.95	东	1-2	花岗
37	椿芽树沟	0.66	0.560	0.75	东南	1-2	花岗
38	陡洪口	—	0.441	0.33	西	1-2	花岗
39	冷浸沟	2.50	0.453	0.90	东南	2-3	花岗
40	漆树坪沟	0.61	0.449	0.41	西	2-3	花岗
41	猪槽沟	2.57	0.482	1.11	东南	2-3	花岗
42	斑鸠岗1#	0.17	0.584	0.30	西南	3-4	花岗
43	斑鸠岗2#	—	0.428	0.29	西南	4-5	花岗
44	斑鸠岗沟	—	0.560	0.21	西南	4-5	花岗
45	长河坝沟	2.01	0.427	0.72	南	4-5	花岗

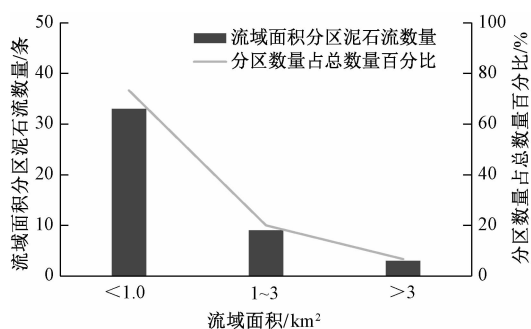


图2 泥石流发生与流域面积的关系图

Fig. 2 The relationship between debris flow occurrence and watershed area

山坡坡度指流域主沟道两侧的斜坡的平均坡度,该坡度的陡缓对泥石流的发生具有重要的作用,坡度越陡越有利于泥石流汇水区水流的汇集和启动。另外坡度给泥石流物源的补给也起到一定作用,坡度越高,崩塌、滑坡提供崩积物和滑积物的概率要大些。这些崩滑堆积物是泥石流物源的主要来源。元星等^[9]指出松散堆积物形成成为泥石流的启动临界坡度为 $15^{\circ} \sim 16^{\circ}$ 。图3显示该流域发生泥石流的沟道坡度涵盖 $0^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 之间,敏感性最强的沟道坡度分布 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。该结论与余斌等^[10]认为的 $25^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的坡度对泥石流的发生最为敏感基本一致。

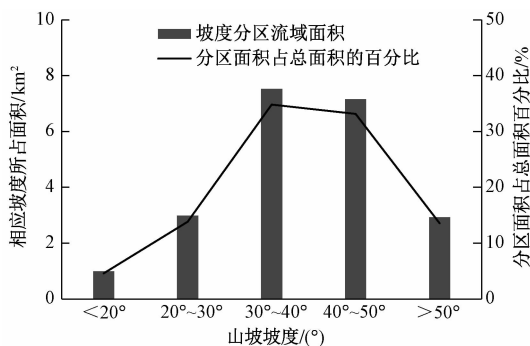


图3 泥石流与山坡坡度的关系图

Fig. 3 The relationship between debris flow occurrence and slope gradient

纵比降对泥石流的发生起很大作用,主要决定泥石流流体运动动力条件和输送物质能力的大小,一定程度上反映了松散堆积物启动的难易程度。马煜^[11]、李彩侠^[12]。统计得出泥石流发生区域的沟道纵比降范围在 $190\text{‰} \sim 790\text{‰}$ 。图4显示该流域发生泥石流的沟道纵比降范围为 $309\text{‰} \sim 703\text{‰}$,敏感性最强的纵比降分布 $400\text{‰} \sim 600\text{‰}$ 。

高差在一定程度上反映了泥石流流体势能转化为动

能的多少和稳定性,同时给泥石流流体由势能转化为动能提供了动力条件。熊俊楠等^[13]学者对四川省3177条泥石流沟的相对高差研究表明相对高差300 m以上时,泥石流沟数明显增多,但相对高差超过1000 m时,泥石流沟数逐渐减少。图5显示该流域发生泥石流的流域高差范围为 $190 \sim 1430$ m,敏感性最强的高差分布 $200 \sim 400$ m。

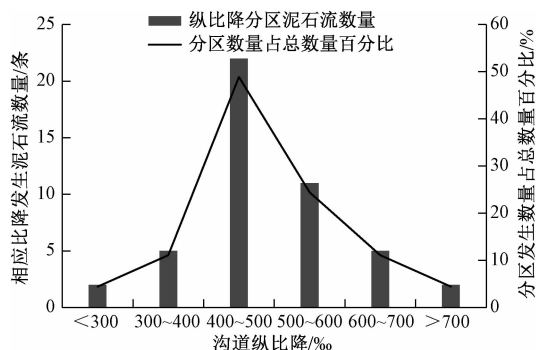


图4 泥石流与沟道纵比降的关系图

Fig. 4 The relationship between the occurrence of debris flow and the longitudinal gradient of gully

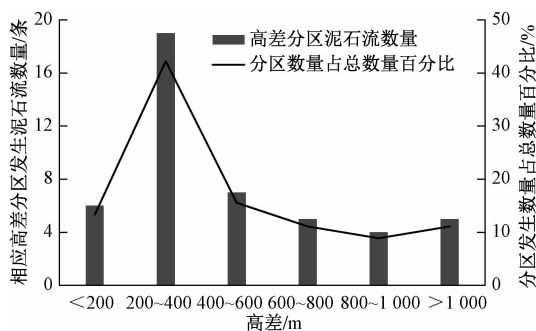


图5 泥石流与高差的关系图

Fig. 5 The relationship between debris flow occurrence and relative elevation

沟道坡向对泥石流的发生也是一个不可忽视的因子。坡向的不同,该坡向山坡上冰雪消融时间、降雨量、植被类型、岩石风化程度等都会不同。一般来说,阳坡上受到阳光照射时间较多,温度高、冰雪积累少,岩石遭受风化程度大,岩土体结构破碎,产生物源相对比较丰富,发生泥石流的概率相对阴坡要大。图6显示该流域发生泥石流的坡向范围为 $22.5^{\circ} \sim 292.5^{\circ}$,敏感性最强的坡向分布在东,东南,西南,西。南向发生泥石流较少的原因主要由于研究区流域沟道走向为南北走向,泥石流沟都分布在沟道两侧。

断裂带走向部位会使岩土体结构破裂,强度及稳定性降低,容易风化或产生崩滑积物为泥石流发育提

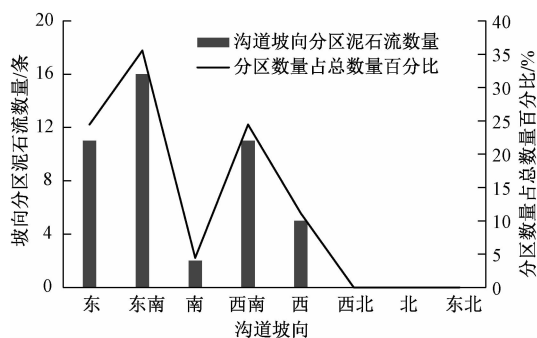


图6 泥石流与沟道坡向的关系图

Fig. 6 the relationship between debris flow occurrence and slope direction of gully

供了物源条件。区域内有映秀-北川断裂北支和南支、飞来峰构造带等三条构造带通过,其中映秀-北川断裂是5·12地震的发震断裂。按照距离断裂带两侧直线距离统计泥石流分布和距离的关系,图7显示该流域发生泥石流在断裂带两侧5 km范围内,敏感性最强的距离区段在0~2 km。

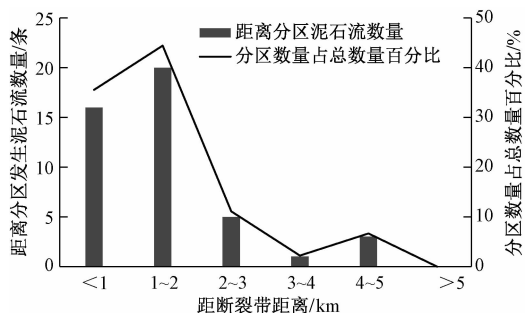


图7 泥石流与距断裂带距离的关系图

Fig. 7 The relationship between debris flow occurrence and distance from fault zone

岩性在一定程度上影响泥石流的物源,由于岩性坚硬程度和抵抗风化能力不同,岩性对泥石流发生的敏感度就不同。研究区岩性以断裂带为界,岩性从南到北呈现很明显的分段,依次为花岗岩、安山岩、泥岩和砂岩、灰岩。图8显示对发生泥石流敏感性最强的岩性是花岗岩,其次是泥岩和砂岩。这与张继^[14]在小江流域研究结果有一定差异性,张继^[14]认为泥石流对各岩性的敏感性中,泥岩敏感性最强,花岗岩最弱。笔者认为产生差异原因是5·12地震时花岗岩主要以厚块状破裂而发生崩塌,为泥石流提供了大量的松散物质。

降雨量的多少是泥石流最直接、最重要的激发因素。谭万沛等^[15]指出月降雨量达到100 mm时,小流域内就会发生多沟同发的可能性,当月降雨量达到170 mm时多沟同发的概率会增大到86%。据吴赛

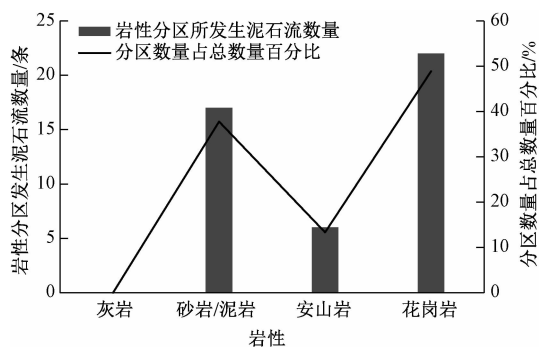


图8 泥石流与岩性的关系图

Fig. 8 the relationship between debris flow occurrence and lithology

儿^[16]统计该流域10年(2006—2015)雨季月平均降雨量为155 mm,区域内月均雨量差异变化不大,基本保持在10 mm以内。本文把该区域调查的泥石流灾害点与吴赛儿^[16]的降雨量分区进行重叠,统计出该区域泥石流发生与雨季月平均降雨量的关系图,图8显示该流域发生泥石流的雨季月降雨量在153~156 mm范围内,敏感性最强的距离区段在153~154 mm。

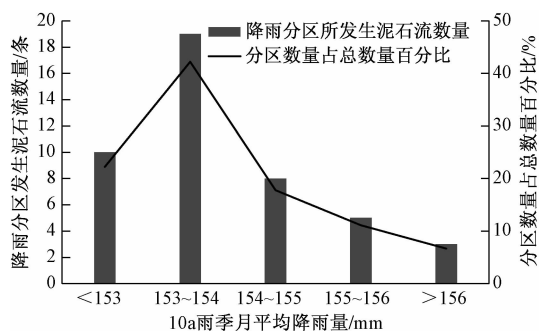


图9 泥石流与雨季月平均降雨量的关系图

Fig. 9 The relationship between debris flow occurrence and average monthly rainfall

3 泥石流对致灾因子敏感性分析

利用ETM影像(28.5 m)、DEM模型(30 m)、数字地形图(1:50 000)、基础地质图(1:250 000)和降雨等值线图,对龙溪河流域内泥石流致灾因子进行分析,得出龙溪河流域内泥石流的主要影响因子为地形因子(流域面积、高程、坡度、坡向、纵比降)、地质因子(岩性、断裂带)、降雨因子(降雨量、水文条件)、地表覆盖(植被)。本文将使用层次分析法来确定各个致灾因子的权重。

3.1 构建递阶层次结构

根据龙溪河流域泥石流相关资料进行分析,确定

泥石流各致灾因子之间的关系,建立递阶层次结构系统,递阶层次结构见图 10。

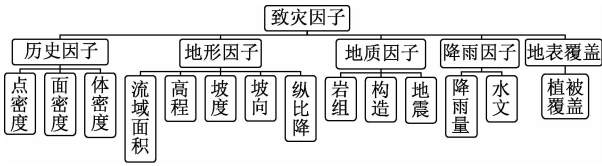


图 10 龙溪河泥石流致灾因子递阶层次结构

Fig. 10 The hierarchical structure of disaster-causing factors of debris flow

3.2 构建矩阵判断

影响泥石流发生的因子很多,每个因子之间又有相互关联性,但每个因子对泥石流发生所起的作用不同,因此应定量的确定每个因子的重要程度。按照层次法将影响该区泥石流的各种因子按一级因子到二级因子从复杂到简单的层次构造判断矩阵,并根据 Saaty 建议采用的标度方法^[17],进行两两比较判断矩阵。(表 2~表 6)。

表 2 第一层次因子敏感性矩阵判断

Table 2 Sensitivity matrix judgment of the first level Factor

名称	历史因子	地形因子	地质因子	降雨因子	地表覆盖
历史因子	1	1/3	1/2	1/5	2
地形因子	3	1	3	1/3	5
地质因子	2	1/3	1	1/3	3
降雨因子	5	3	3	1	3
地表覆盖	1/2	1/5	1/3	1/3	1

表 3 历史因子敏感性矩阵判断

Table 3 Sensitivity matrix judgment of the historical factor

因子名称	点密度	面密度	体密度
点密度	1	1	1
面密度	1	1	1
体密度	1	1	1

表 4 地形因子敏感性矩阵判断

Table 4 Sensitivity matrix judgment of the topographic factor

因子名称	流域面积	高程	坡度	坡向	纵比降
流域面积	1	5	3	3	2
高程	1/5	1	1/3	3	1/3
坡度	1/3	3	1	3	1/3
坡向	1/3	1/3	1/3	1	1/3
纵比降	1/2	3	3	3	1

表 5 地质因子敏感性矩阵判断

Table 5 Sensitivity matrix judgment of the geological factor

因子名称	岩组	构造	地震
岩组	1	5	3
构造	1/5	1	3
地震	1/3	1/3	1

表 6 降雨因子敏感性矩阵判断

Table 6 sensitivity matrix judgment of the rainfall factor

因子名称	降雨量	水文
降雨量	1	7
水文	1/7	1

3.3 致灾因子权重值确定

经过单一准则下同一层次元素的相对权重计算、一致性检验和归一化处理后,得到致灾因子层次的单层次排序和总层次排序权重结果,具有较好的一致性,其权重值具有可接受性(表 7)。表 7 显示该流域泥石流的致灾因子的敏感性强弱排序为:降雨量 > 流域面积 > 地层岩性 > 纵比降 > 植被 > 水文 > 坡度 > 地质构造 > 高程 > 坡向 > 地震。因此,按照各因子所占总权重大小确定龙溪河流域泥石流发生的最主要因子为降雨,流域面积,地层岩性,纵比降,水文等。这一结论与国内外学者研究基本一致,如张具琴等^[18]对汶川县泥石流因子进行权重分析获得主要因子为降雨、沟道坡度、植被、地层岩性、高程、水文等。田丰等^[19]对甘肃省陇南市泥石流因子进行分析认为降雨量、水文、岩性硬度、坡度、地表黏粒含量对泥石流发生起到主要作用。因此本文通过层次分析法获得龙溪河流域泥石流主要因子为降雨、流域面积、地层岩性、纵比降、水文等有一定意义,可将该结论应用在该地区泥石流的易发性评价分析中。

表 7 致灾因子的单层次权重值及总权重值

Table 7 Single level weight value and total weight value of disaster-causing factors

	第一层次	权重	第二层次	权重	总权重
致灾因子	历史因子	0.083 3	点密度	0.333 3	0.028 2
			面密度	0.333 3	0.028 2
			体密度	0.333 3	0.028 2
			流域面积	0.394 5	0.106 5
			高程	0.098 5	0.026 6
	地形因子	0.269 9	坡度	0.165 0	0.044 5
			坡向	0.070 2	0.019 0
			纵比降	0.270 8	0.073 1
			岩组	0.650 6	0.092 4
	地质因子	0.141 4	构造	0.222 6	0.031 9
			地震	0.126 8	0.018 4
			降雨量	0.876 1	0.379 7
	降雨因子	0.433 5	水文	0.123 9	0.053 7
	地表覆盖	0.066 9	植被覆盖	1.000 0	0.066 9

4 结论

本文以龙溪河流域 45 条泥石流沟基础数据为例,通过野外调查、数理统计法和层次分析法对龙溪河流

域泥石流灾害的主要致灾因子进行定性规律分析和定量权重大小计算。结果表明:

(1)泥石流的发生与致灾因子有一定相关性,且各致灾因子对泥石流发生都具有敏感区间:流域面积为 $[0,1\text{ km}^2]$ 、山坡坡度为 $[30^\circ,50^\circ]$ 、沟道纵比降为 $[400\%,600\%]$ 、高差为 $[200\text{ m},400\text{ m}]$ 、沟道坡向为 $[东,东南]$ 、距断裂带距离为 $[0,2\text{ km}]$ 、岩性为花岗岩和砂岩/泥岩、雨季月平均降雨为 $[153\text{ mm},154\text{ mm}]$ 。

(2)结合 GIS 图形处理和数据管理功能的精细化和层次分析法操作简便,使用性强的优点建立的层次评价模型计算龙溪河流域泥石流的致灾因子权重,从结论看该方法是实用和有效的。

(3)影响龙溪河流域泥石流主要的致灾因子是降雨因子中的降雨量、地形因子中的流域面积和纵比降,地质因子中的地层岩性。这一结论具有普遍性,可以应用到该区域泥石流评价中,进而为山区泥石流灾害易发性、危险性、风险性区划提供一定的量化指标参考。

参考文献:

- [1] 刘希林. 泥石流危险度的判定和研究[J]. 灾害学, 1988, 3(3): 10 - 15. [LIU X L. Research of debris flow risk decision [J]. Journal of Catastrophology, 1988, 3(3): 10 - 15. (in Chinese)]
- [2] 马金辉, 田菲, 陈璐. 基于优势分析法的泥石流影响因子相对重要性分析——以白龙江流域为例[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2014, 50(5): 722 - 727. [MA J H, TIAN F, CHEN L. Relative importance analysis of debris flow factors based on dominance analysis: a case study of the Bailongjiang Basin in China [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Science), 2014, 50(5): 722 - 727. (in Chinese)]
- [3] 刘希林, 唐川, 张松林. 中国山区沟谷泥石流危险度的定量判定法[J]. 灾害学, 1993, 8(2): 1 - 7. [LIU X L, TANG C, ZHANG S L. Quantitative judgment on the debris flow risk degree [J]. Journal of Catastrophology, 1993, 8(2): 1 - 7. (in Chinese)]
- [4] 铁永波, 唐川. 层次分析法在单沟泥石流危险度评价中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(4): 79 - 84. [TIE Y B, TANG C. Application of AHP in single debris flow risk assessment [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(4): 79 - 84. (in Chinese)]
- [5] LAN H, WU F, ZHOU C, et al. Analysis on susceptibility of GIS based landslide triggering factors in Yunnan Xiaojiang watershed [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21: 1500 - 1506.
- [6] OHLMACHER G C, DAVIS J C. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA [J]. Engineering Geology, 2003, 69(3): 331 - 343.
- [7] 陈莉. 小流域尺度泥石流灾害风险分析[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2016. [CHEN L. The risk analysis of debris flow disaster in small watershed scale [D]. Mianyang, China: Southwest University of Science and Technology, 2016. (in Chinese)]
- [8] 张自光, 张志明, 张顺斌. 都江堰市八一沟泥石流形成条件与动力学特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(1): 34 - 38. [ZHANG Z G, ZHANG Z M, ZHANG S B. Formation conditions and dynamics features of the debris flow in Bayi Gully in Dujiangyan County [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(1): 34 - 38. (in Chinese)]
- [9] 亓星, 余斌, 王涛. 沟道坡度对泥石流起动模式影响的模拟试验研究[J]. 水电能源科学, 2014, 32(7): 116 - 119. [QI X, YU B, WANG T. Simulation test of impact of gully slope on starting model of debris flow [J]. International Journal Hydroelectric Energy, 2014, 32(7): 116 - 119. (in Chinese)]
- [10] 余斌, 王涛, 朱渊. 浅层滑坡诱发沟谷泥石流的地形和降雨条件[J]. 水科学进展, 2016, 27(4): 542 - 550. [YU B, WANG T, ZHU Y. Research on the topographical and rainfall factors of debris flows caused by shallow landslides [J]. Advances in Water Science, 2016, 27(4): 542 - 550. (in Chinese)]
- [11] 马煜, 李彩侠. 地形因子对四川龙溪河流域泥石流发生的影响[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(2): 16 - 21. [MA Y, LI C X. Effect of topographic factor on the formation of debris flows in Longxi River Area, Sichuan Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(2): 16 - 21. (in Chinese)]
- [12] 李彩侠, 马煜. 地形因子对白水河流域泥石流易发性的影响[J]. 中国科技论文, 2018, 13(9): 1036 - 1040. [LI C X, MA Y. Influence of topographic factor on debris flow susceptibility in Baishui River area [J]. China Science paper, 2018,

- 13(9): 1036 – 1040. (in Chinese)]
- [13] 熊俊楠, 韦方强, 刘志奇. 四川省小流域泥石流危险性评价[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(12): 1604 – 1612. [XIONG J N, WEI F Q, LIU Z Q. Hazard assessment of debris flow in Sichuan Province [J]. Geo-Information Science, 2017, 19 (12): 1604 – 1612. (in Chinese)]
- [14] 张继. 泥石流对岩性的敏感性研究——以小江流域为例[D]. 成都: 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所, 2008. [ZHANG J. Study on sensitivity of debris flow to lithology-taking Xiaojiang River Basin as an example [D]. Chengdu: Chengdu Institute of Mountain Disasters and Environment, Ministry of Water Resources, Chinese Academy of Sciences, 2008. (in Chinese)]
- [15] 谭万沛, 陈英燕, 王成华, 等. 孙水河流域降水量对泥石流灾害的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998(1): 81 – 87. [TAN W P, CHEN Y Y, WANG C H, et al. Precipitation features in sunshuihe basin and their impacts on mountain disasters [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1998 (1): 81 – 87. (in Chinese)]
- [16] 吴赛儿. 强震区泥石流易发性研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018. [WU S E. Study on the susceptibility of debris flow in strong earthquake areas [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018. (in Chinese)]
- [17] 许树柏. 实用决策方法 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988: 145 – 165. [XU S B. Principle of analytic hierarchy process [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1988: 145 – 165. (in Chinese)]
- [18] 张具琴, 李少达, 杨武年, 等. 基于3S技术的泥石流影响因子权重分析[J]. 地理空间信息, 2016, 14(3): 70 – 72. [ZHANG J Q, LI S D, YANG W N, et al. Analysis of impact factor indexes weight of debris flow based on 3S techniques [J]. Geospatial Information, 2016, 14(3): 70 – 72. (in Chinese)]
- [19] 田丰, 张军, 冉有华, 等. 甘肃陇南市泥石流灾害危险性及其影响因子评价[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 197 – 203. [TIAN F, ZHANG J, RAN Y H, et al. Assessment of debris flow disaster hazard and influence factors in Longnan district [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32 (3): 197 – 203. (in Chinese)]

封面照片说明

400 余套监测设备覆盖九寨沟景区

九寨沟景区地质灾害专业监测预警体系是针对九寨沟景区内滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害致灾特点, 构建地质灾害监测、分析、预报、预警和应急服务一体的信息化、智能化、可视化服务平台, 为全面提升九寨沟景区防灾能力、加强安全管理提供技术保障。

平台布设了地表位移、裂缝变形、泥位、雨量等多种预报、预警和应急服务一体化体系, 确保灾害发生后, 第一时间传递预警信息, 让受威胁的人群快速转移撤离。

目前, 九寨沟景区内已安装了 400 余套地质灾害监测设备, 全面覆盖监测地质灾害隐患点。一旦出现险情, 平台就会自动发出预警信息。

(中国地质环境监测院 范宏喜 供稿)