

四川省都江堰市龙池地区群发性泥石流 物源敏感性分析*

刘 洋¹, 唐 川¹, 李为乐¹, 钟华介², 黄 伟¹,
陈海龙¹, 王金亮¹, 唐宏旭¹

(1. 成都理工大学 地质灾害与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059;
2. 成都市地质环境监测站, 四川 成都 610041)

摘 要:汶川地震改变了西南山区的地质环境, 所产生的地质灾害效应在 2010 年 8 月 13 日及 8 月 19 日的极端天气下导致多地爆发山洪泥石流, 其中都江堰龙池地区爆发大规模群发性泥石流。选取龙池区域作为研究对象, 利用层次分析-信息量法针对形成泥石流的物源条件进行敏感性分析。选取了 8 类影响物源分布的因子: 公路影响带、海拔、坡度、坡高、植被覆盖率、河流影响带、断裂影响带及岩土体类型, 并细分为 37 个级别, 为每个分级评定敏感性权重, 利用 ARCGIS 平台最终生成高、中、低三级敏感性区划图。根据敏感性区划从物源条件上划分了龙池地区泥石流危险性等级, 从而确定需要重点进行监测防治的泥石流沟道。

关键词: 龙池; 群发性泥石流; 层次分析-信息量法; ARCGIS; 敏感性分析; 四川都江堰

中图分类号: TP751; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)02-0107-07

汶川地震触发了上万个崩塌滑坡, 在强降雨条件下, 崩塌和滑坡进一步失稳转换为泥石流, 震后泥石流的隐蔽性、突发性、群发性和破坏力^[1-3]给地震灾区的县市造成了二次破坏。地震对于西南山区影响是长期的, 其中唐川根据日本关东地震和台湾集集地震震后灾害发育时空分布规律, 预测汶川地震至少在近 10~15 年内在地震高烈度区的滑坡、泥石流活动处于高峰期^[4]。黄润秋提出了震后汶川地震灾区的地质灾害将持续 20~25 年, 在这段时间内, 地质灾害将以 4~5 年一个高峰为周期, 呈震荡式的衰减下降, 并最终恢复到震前的水平^[5], 对于震后城镇周边滑坡泥石流的风险评价将会成为未来地质灾害防治的重点。

目前针对泥石流物源敏感性研究主要集中在遥感影像动态分析、单体滑坡崩塌的敏感性分析和区域地质灾害的危险性研究^[6-9]。本文研究在小流域范围内降雨和地形条件变化较小的前提下, 对泥石流物源敏感性分析, 并利用敏感性分析结果进行泥石流危险性分级, 从而确定龙池流域危险性较大的泥石流沟道。

1 研究区概况

龙池位于四川省都江堰市区西北方向, 属于四川盆地中亚热带湿润季风气候区。降水充沛, 1987-2008 年多年平均降水量 1 134.8 mm, 降水量在时间上分布不均, 5-9 月降水量占全年降水量的 80%。区内北高、南低, 居龙门山断裂构造

带, 中山、低山及河谷平坝阶梯状分布。区内最高峰为北端的龙池冈山顶, 海拔 3 072 m, 最低点位于南端紫平铺水库边, 海拔 770 m, 相对高差 2 274 m。

研究区内地层除缺失奥陶系、泥盆系、白垩系、侏罗系及第三系外, 从元古界到第四系均有出露, 总厚度达 20 000 m。龙池区域内水坞坪以上流域, 以花岗岩、闪长岩、等侵入岩体为主, 最厚达 863 m。龙溪河茶坊沟至紫平铺龙洞子山段, 为浅海碳酸盐岩建造, 岩性为灰岩、生物碎屑灰岩、泥质灰岩等, 厚 0~495 m。龙溪河龙洞子山至紫平铺水库段, 为海陆交替相铝铁页岩含煤建造, 岩性为褐灰色粉砂岩、铝土页岩、碳质页岩夹透镜状无烟煤, 厚 0~29 m。龙池镇周边区域岩性以砂岩、泥岩、碳质页岩为主夹煤, 厚度 1 100~3 079 m。第四系全新统冲洪积层(Q_4^{al+pl})、残坡积(Q_4^{el+pl})、洪坡积(Q_4^{pl+dl})、崩坡积(Q_4^{col+dl})、泥石流堆积(Q_4^{sef})、滑坡堆积(Q_4^{del})。分布在区内部(图 1)。

龙池区域在地质构造上为华夏系龙门山构造带的中南段, 地质构造复杂。龙门山中央北川-映秀断裂的一部分通过研究区, 为北东向压扭性深大断裂, 分布于虹口乡和龙池镇北部, 境内长 40 km, 断层面向北西倾斜, 倾向 $300^\circ \sim 330^\circ$, 倾角 $50^\circ \sim 60^\circ$ 。此外平行于北川-映秀断裂还有两条次级断裂分别为灌县-江油断裂和桐麻坎-南

* 收稿日期: 2012-09-09 修回日期: 2012-10-25

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2011BAK12B01); 国家自然科学基金青年基金(41202210); 四川省教育厅自然科学重点项目(11ZA047)

作者简介: 刘洋(1986-)男, 河南陕县人, 硕士研究生, 研究方向为地质灾害评价。E-mail: lydream2001@qq.com

狱庙断裂。

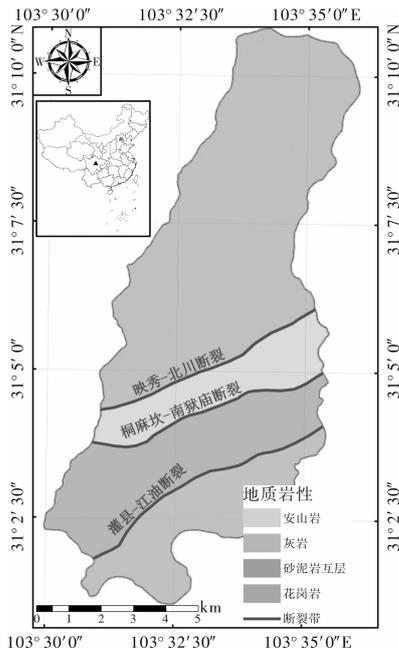


图1 龙池区域地质图

根据龙池现场调查的45处滑坡和25处崩塌^[4]建立地质灾害遥感解译标准,利用校正后SPOT-5的10 m多光谱影像和2.5 m全色影像融合得到的解译影像,共解译得到滑坡869处,崩塌6处。共计滑坡914处,崩塌31处(图2)。

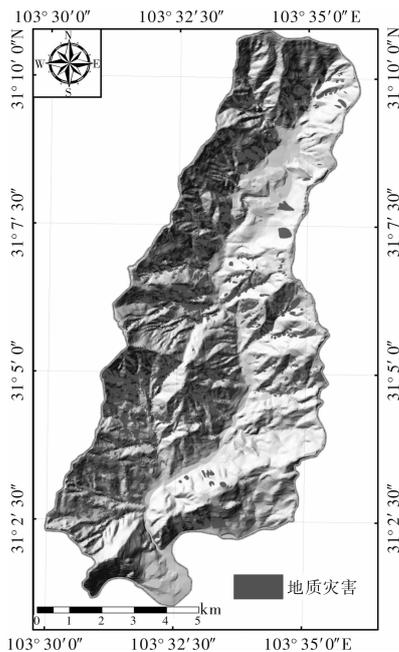


图2 龙池区域滑坡崩塌分布图

龙池流域处于发震带周边,流域内各个沟道存在大量松散物源,由于震后暴雨的作用,龙池地区在2010年8月13日、8月19日分别爆发了泥石流,其中8月13日龙池地区的48条沟均爆发了不同程度的泥石流,总冲出物源达1 000万 m³,其

中八一沟冲出就达200万 m³^[1],泥石流冲毁埋沟内道路房屋,堵塞河道抬高河床,对当地人民群众生命财产安全造成严重损失,也严重影响了龙池的景区的恢复重建。

2 研究方法

2.1 评价方法的选择

层次分析法(AHP)在地质灾害评价中应用较为广泛,主要利用专业知识对灾害现象进行判断打分,最后给出权重,评价过程中人的专业水平差别对权重的影响很大。信息量法是利用数学统计将大量实际调查数据中影响地质环境稳定性的因素转化为权重,从而进行用于地质灾害危险性评价领域。本文将层次分析法和信息量法结合,使主观分析结合客观实际,能更好反映实际区域灾害敏感性。

2.2 评价因子的选取

控制和影响崩塌滑坡敏感性程度的因素有多种,包括地形地貌、地质构造、地层岩性水文地质条件、气候、地震、人类活动影响等等^[10-12]。本文根据龙溪河流域具体灾害分布特征及形成条件,选取人类活动、地形条件(包括海拔、坡度、坡高)、植被分布、水文条件、断裂带、岩土体类型等8个因素作为评价指标。特别说明一点降雨量作为诱发地质灾害的重要因素,是敏感性评价不可缺少的一项评价因子,但是本次研究区域龙溪河流域范围较小,区域降雨量变不大,不具有差异性,所以本次研究不将降雨量纳入评价体系中。

根据这8个因素建立层次分析法^[13]模型(图3)。

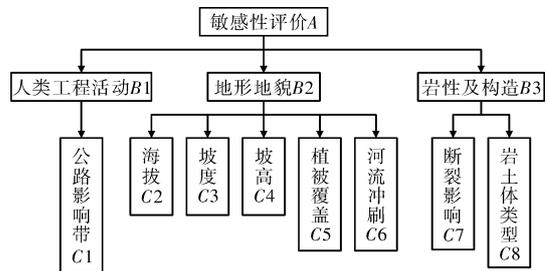


图3 层次分析法模型

2.3 评价权重的确定

(1)根据图3构建的地质灾害敏感性评价指标层次结构分析模型,重要性程度按1~9对各层中的要素对上一层次目标的相对重要性进行两两比较(表1~表3),构造判断矩阵。

表1 A-B判断矩阵

A	B1	B2	B3	Wi
B1	1	1/3	1/5	0.109 5
B2	3	1	1/2	0.309 0
B3	5	2	1	0.581 6

注: B1 为人类工程; B2 为地形地貌; B3 为岩性及构造; Wi 为指标权重。

表 2 B2 - C 判断矩阵

B1	C2	C3	C4	C5	C6	Wi
C2	1	1/3	1/3	1	1/5	0.075 9
C3	3	1	1	3	1/2	0.219 6
C4	3	1	1	3	1/2	0.219 6
C5	1	1/3	1/3	1	1/5	0.075 9
C6	5	2	2	5	1	0.408 9

注: C2 为海拔高度; C3 为坡度; C4 为坡高; C5 为植被覆盖率; C6 为河流冲刷; Wi 为指标权重。

表 3 B3 - C 判断矩阵

B3	C7	C8	Wi
C7	1	5	0.833 3
C8	1/5	1	0.166 7

注: C7 为断裂影响带; C8 为岩土体类型; Wi 为指标权重。

(2) 由判断矩阵计算被比较元素相对权重

计算以上矩阵的最大特征根 λ_{\max} 及对应的特征向量, 并进行一致性检验, 结果如下。

A - B 判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max} = 3.003 7$, 一致性指标 C. I. = 0.001 85, 查平均随机一致性指标 R. I. 得: R. I. = 0.52, 则检验性指标 C. R. = 0.003 55 < 0.1, 具有较好的一致性, 最大特征值对应的特征向量为 (-0.164 0, -0.462 9, -0.871 1), 将其进行归一化处理即得权重值 Wi 为 (0.109 5, 0.309 0, 0.581 6)。

B2 - C 判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max} = 5.005 3$, 一致性指标 C. I. = 0.001 325, 查平均随机一致性指标 R. I. 得: R. I. = 1.12, 则检验性指标 C. R. = 0.001 18 < 0.1, 具有较好的一致性, 最大特征值

对应的特征向量为 (0.144 7, 0.418 6, 0.418 6, 0.144 7, 0.779 5), 将其进行归一化处理即得权重值 Wi 为 (0.075 9, 0.219 6, 0.219 6, 0.075 9, 0.408 9)。

B3 - C 层判断矩阵 $\lambda_{\max} = 2$ 。最大特征值对应的特征向量为 (0.980 6, 0.196 1), 将其进行归一化处理即得到 C7、C8 评价指标的权重 Wi, 分别为 (0.833 3, 0.166 7)。

(3) 将 B1、B2、B3 层归一化之后的权重在 A 层下再次归一化后, 得到 8 项要素的权重总排序如表 4 所示。

表 4 A - C 层次权重总排名

	A - B 层次权重			A - C 层次总排名
	B1	B2	B3	
	0.109 5	0.309 0	0.581 6	
C1	1.000 0	0.000 0	0.000 0	0.109 5
C2	0.000 0	0.075 9	0.000 0	0.023 5
C3	0.000 0	0.219 6	0.000 0	0.067 9
C4	0.000 0	0.219 6	0.000 0	0.067 9
C5	0.000 0	0.075 9	0.000 0	0.023 5
C6	0.000 0	0.408 9	0.000 0	0.126 4
C7	0.000 0	0.000 0	0.833 3	0.484 6
C8	0.000 0	0.000 0	0.166 7	0.097 0

(3) 信息量模型计算

根据研究区崩塌滑坡影响因素的特点, 结合实际情况和前人研究成果^[14-16]将 8 种主要影响因素进一步细分为 37 个分级(表 5), 为信息量法评价敏感性权重提供指标。

表 5 信息量评价分级表

分类	主要影响因素	影响因素分级	数据来源
B1	公路(C1)	0 ~ 25 m、25 ~ 50 m、 50 ~ 75 m、75 ~ 100 m	遥感影像解译(SPOT - 5)
		760 ~ 950 m、950 ~ 1 300 m、 1 300 ~ 1 800 m、1 800 ~ 2 500 m、2 500 ~ 3 280 m	
	海拔(C2)	0° ~ 15°、15° ~ 30°、 30° ~ 45°、45° ~ 60°、> 60°	1: 10 000 地形图生成 DEM
B2	坡度(C3)	0° ~ 15°、15° ~ 30°、 30° ~ 45°、45° ~ 60°、> 60°	1: 10 000 地形图生成 DEM
	坡高(C4)	0 ~ 2 m、2 ~ 4 m、 4 ~ 6 m、6 ~ 8 m、> 8 m	1: 10 000 地形图生成 DEM
	植被覆盖率(C5)	岩石裸露区、植被较稀疏区、植被稀疏区、植被一般茂密区和植被茂密区	TM 影像
B3	河流冲刷(C6)	0 ~ 50 m、50 ~ 100 m、 100 ~ 150 m、150 ~ 200 m	遥感影像解译
	断裂影响带(C7)	0 ~ 200 m、200 ~ 400 m、 400 ~ 600 m、600 ~ 800 m、 800 ~ 1 000 m	地质图
	岩土体类型(C8)	花岗岩、安山岩、砂泥岩互层、灰岩	地质图

注: 其中 B1 为人类工程活动, B2 为地形地貌, B3 为岩性及构造。

利用 GIS 平台，将各个影响因素按照敏感性模型的要求重分类后，结合地质灾害点分布图(图 2)，将每个分级的数据带入式(1)，得到各因子图层各类别的信息量值^[17](表 6)。

$$I(x_i, H) = \ln \frac{N_i | N}{S_i | S}, \quad (1)$$

式中： N 为研究区有地质灾害分布的单元总数； S 为研究区评价单元总数； N_i 为分布在因素 x_i 内特定类别内的地质灾害单元数； S_i 为研究区内含有评价因素 x_i 的单元数。

表 6 影响因子信息量

分类	影响因素	分级	信息量计算			图层权重值	综合信息量值
			N_i	S_i	信息量值		
B_1	公路影响带	0~25	4	1.636 9	-1.508 7	0.109 5	-0.165 2
		25~50	3	1.524 4	-1.725 2	0.109 5	-0.188 9
		50~75	5	1.447 2	-1.162 4	0.109 5	-0.127 3
		75~100	3	1.384 9	-1.629 2	0.109 5	-0.178 4
	海拔高度/m	760~950	14	6.643 5	-1.656 8	0.023 5	-0.038 9
		950~1 300	224	22.378 2	-0.098 7	0.023 5	-0.002 3
		1 300~1 800	455	27.554 7	0.401 9	0.023 5	0.009 4
		1 800~2 500	283	26.368 2	-0.028 9	0.023 5	-0.000 7
		2 500~3 280	19	7.068 5	-1.413 4	0.023 5	-0.033 2
	坡度/(°)	<15	32	11.151 7	-1.348 1	0.067 9	-0.091 5
		15~30	188	26.551 2	-0.444 9	0.067 9	-0.030 2
		30~45	653	44.334 1	0.287 6	0.067 9	0.019 5
		45~60	120	7.395 7	0.384 4	0.067 9	0.026 1
		>60	3	0.579 5	-0.758 0	0.067 9	-0.051 5
B_2	坡高/m	<2	68	18.049 4	-1.075 8	0.067 9	-0.073 1
		2~4	500	44.045 3	0.027 2	0.067 9	0.001 8
		4~6	368	23.767 3	0.337 6	0.067 9	0.022 9
		6~8	50	3.269 3	0.325 3	0.067 9	0.022 1
		>8	9	1.016 9	-0.221 8	0.067 9	-0.015 1
	植被分布	-0.174~0.114	9	3.311 9	-1.402 5	0.023 5	-0.033 0
		0.114~0.328	23	4.413 8	-0.751 5	0.023 5	-0.017 7
		0.328~0.455	88	16.367 0	-0.720 2	0.023 5	-0.016 9
		0.455~0.542	324	33.111 2	-0.121 3	0.023 5	-0.002 9
		0.542~0.680	551	32.820 5	0.418 5	0.023 5	0.009 8
	河流影响带	0~50	96	8.626 1	0.007 3	0.126 4	0.000 9
		50~100	124	8.088 0	0.327 7	0.126 4	0.041 4
		100~150	87	7.576 2	0.038 7	0.126 4	0.004 9
		150~200	77	7.085 8	-0.016 5	0.126 4	-0.002 1
B_3	断裂影响带	0~200	135	9.429 2	0.259 3	0.484 6	0.125 6
		200~400	121	9.514 5	0.140 8	0.484 6	0.068 2
		400~600	117	9.259 7	0.134 3	0.484 6	0.065 1
		600~800	107	6.312 4	0.428 1	0.484 6	0.207 5
		800~1 000	88	6.230 2	0.245 7	0.484 6	0.023 8
	岩土体类型	花岗岩	513	47.460 3	-0.021 8	0.097 0	-0.002 1
		安山岩	248	10.211 7	0.787 7	0.097 0	0.076 4
		砂泥岩互层	223	18.458 6	0.089 4	0.097 0	0.008 7
		灰岩	11	13.933 7	-2.638 6	0.097 0	-0.256 0

注：其中 B_1 为人类工程活动， B_2 为地形地貌， B_3 为岩性及构造

综合信息量的计算结果显示, 在 37 种参加计算的评价要素中, 综合信息量的最高值为 0.207 5, 最低值为 -0.256 0。断裂影响带占据了信息量值前 5 名的位置, 其次主要为河流影响范围、坡度和坡高。

(1) 人类工程活动对该区域地质灾害的发生影响较低, 由于此次龙溪河流域地质灾害的大规模爆发的主要原因是地震造成的, 公路对地质灾害的贡献率最低。

(2) 地形坡度在 45°~60°之间的信息量值较为靠前, 30°以下的缓坡则为负值, 表明坡度在 30°以下的地区发生地质灾害的可能性低, 坡度在 45°~60°的地区对地质灾害的贡献较大, 发生地质灾害的可能性高。

(3) 高度在 4~8 m 的斜坡, 其信息量值较高, 对地质灾害发生的贡献较大, 较容敏感生地质灾害; 8 m 以上的斜坡在龙溪河流域分布较少, 且主要分布在人烟稀少的地区, 对人类生命和财产安全影响不大, 因此并未作为本次调查的主要研究内容。

(4) 对已发生的地质灾害统计分析得到, 植被覆盖越高的区域是地质灾害发育较集中的区域, 主要由于地震波传递在山脊地区具有放大效应, 植被茂密地区反而地质灾害发育更多。

(5) 河流的侧蚀作用对研究区地质灾害发生影响较大, 信息量计算结果显示, 总体来看, 距河流越近的区域, 信息量值越高, 表明河流距离因子对地质灾害发生影响较大。

(6) 断裂带距离因子对龙溪河流域的影响最大, 距断裂带越近地质灾害发育越密集, 对敏感性信息量的贡献也越高, 但距断裂带距离超过 1 km 以上灾害发育有减少的趋势, 断裂带距离因子是此次敏感性评价的最重要影响因素。

(7) 工程地质岩组对地质灾害发生的影响较大。其中, 安山岩、砂泥岩互层、灰岩、花岗岩等岩组信息量值较高, 表明其对地质灾害的贡献较大, 该地区易发地质灾害。

2.4 敏感性评价

表 5 中统计了综合信息量, 它是每个影响因素的各个分级信息量与层析分析法求得的权重值的乘积, 然后将得到的综合信息量值赋给对应的栅格图, 最后利用 ARCGIS 平台的栅格计算将影响因子的图层进行叠加, 完成地质灾害敏感性因子的综合信息量计算, 生成地质灾害综合信息量值叠加图(图 4), 图中信息量值范围为 -0.666 0 ~ 0.312 7。

利用统计学的自然断点法将栅格叠加图按综

合信息量重分类, 将本区的泥石流物源敏感性程度划分为 3 级: 低敏感区、中敏感区和高敏感区, 信息量值区间分别为 -0.584 0 ~ -0.276 3, -0.276 3 ~ 0.026 1, 0.026 1 ~ 0.259 9。

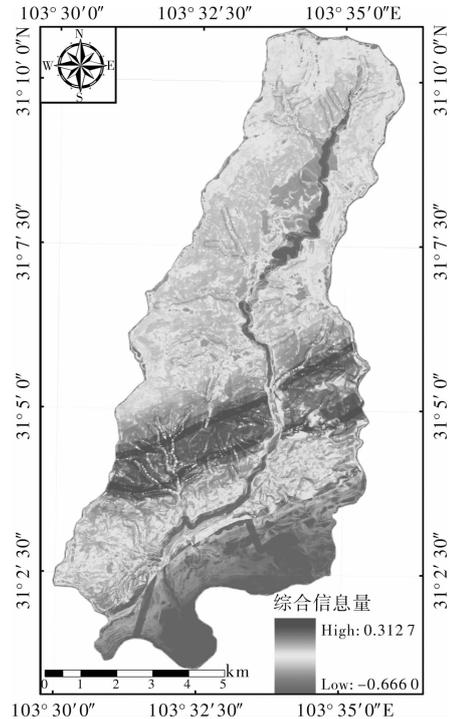


图 4 综合信息量值叠加图

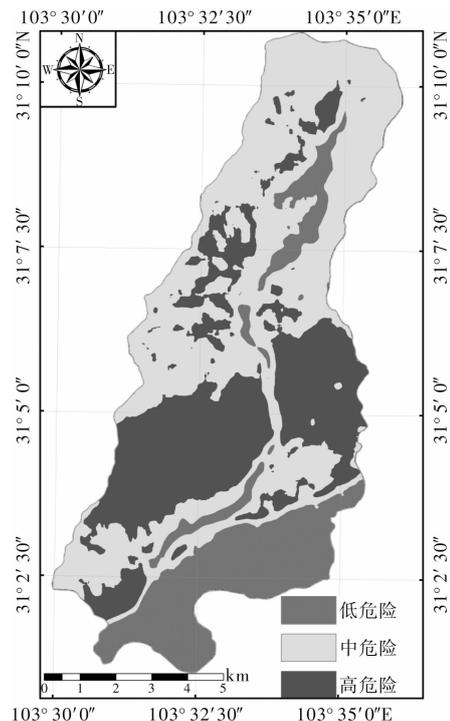


图 5 敏感性区划图

2.5 敏感性区划分析

根据敏感性区划图(图 5)分析得知, 地质灾

害高敏感区的面积占全区的 38.90%，主要是沿断裂带附近及龙溪河左岸，以及坡度大于 45° 的区域，并且高敏感区为龙池镇所在地，属人口密集区。中敏感区占全区面积的 53.65%，主要分布在北部坡度较缓距断裂带较远的地区及南部靠近紫平铺水库地势较低的区域，存在部分灾害隐患，较容敏感生地质灾害。低敏感区面积占全区的 7.45%，主要分布在龙溪河流域河谷、水库周边。

由于龙池区域内降雨量差别不大，物源条件的敏感性成为划分泥石流危险性的主要因素，根据敏感性区划将不同区划中的泥石流灾害按照物源敏感性高低将泥石流划分为高、中、低三级危险性分级(图 6)，根据图中所示龙池区域震后共发育 48 条泥石流，高敏感区内爆发了 25 条泥石流沟属于高危险等级(表 7)，其中八一沟、麻柳沟、黄央沟、白果堂沟、水打沟、水鸠坪、蒋家沟、椿芽树沟等作为重点治理对象已经实施了勘查或者完成了治理，老场镇泥石流(簸箕沟、煤炭坪沟、曹家岭沟、栗子坪沟)、碱平沟、麻柳槽沟等也纳入了治理范围，重点治理和未来规划治理的对象和我们划分危险性高的泥石流沟基本一致，证明了在小流域范围内对于物源条件的敏感性分析是可以合理进行泥石流危险性划分的，甚至可以通过物源敏感性值的大小来估算泥石流的爆发规模，最终为今后龙池灾后地质灾害防治预警和二次重建提供数据支持。

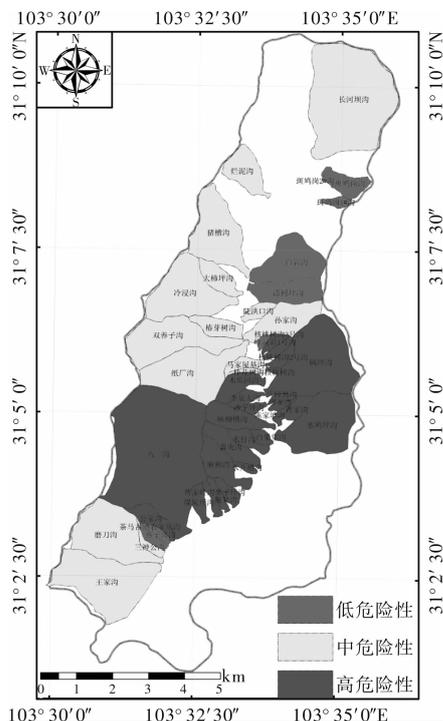


图 6 泥石流危险性分布图

表 7 影响因子信息量

危险性等级	名称
低危险性	燕子窝沟、茶马古道农家乐沟、峰洞岩 2 号沟、漆树坪沟、白岩沟、斑鸠岗 1 号沟、斑鸠岗 2 号沟、斑鸠岗沟
中危险性	王家沟、三神公沟、磨刀沟、马家屋基沟、桂花树沟、纸厂沟、双养子沟、椿芽树沟、冷浸沟、大柿坪沟、孙家沟、陡洪口沟、长河坝沟、猪槽沟、烂泥沟
高危险性	八一沟、公家沟、煤炭坪沟、簸箕沟、曹家岭沟、栗子坪沟、麻柳沟、水井槽沟、水打沟、黄央沟、白果堂沟、陈家坡沟、廖家沟、蒋家沟、沙子坪沟、马蹄窝沟、麻柳槽沟、李泉太沟、木瓜园沟、核桃树沟、核桃树沟 2 号沟、核桃树沟 3 号沟、峰洞岩 1 号沟、水鸠坪沟、碱坪沟

3 结论

本论文在对都江堰市龙溪河流域地质灾害详细调查工作的基础之上，结合遥感技术对整个龙溪河流域进行遥感解译，对灾害发育类型进行归纳，总结其空间、时间分布特征，并探究影响其分布的因子。在以上研究基础上，应用层次分析-信息量法，对龙溪河流域泥石流物源敏感性作出评价，生成敏感性区划图，为泥石流灾害防治预警提供依据。

(1)在地质灾害详细调查的基础上，结合遥感技术，对龙池区域的崩塌滑坡进行了解译分析，对影响崩塌滑坡发育特征进行了分析，归纳出灾害主要受断裂带、河流及坡度等影响，灾害分布具有明显的时空分布特征，灾害的形成受内、外动力地质作用影响，存在潜在致灾隐患。

(2)利用 ARCGIS 平台结合层次分析-信息量法对崩塌滑坡影响较大的 8 大类 37 级因子进行评价并赋权重，最后将权重值进行叠加，根据自然断点法将泥石流物源敏感性区域分为高中低三级。

(3)龙池区域泥石流物源敏感性区域表明：地质灾害高敏感区的面积占全区的 38.90%，主要沿断裂带附近，及坡度大于 45° 的区域，此区域为龙池镇所在地，人口密集区。中敏感区占全区面积的 53.65%，主要分布在北部坡度较缓距断裂带较远的地区及南部靠近紫平铺水库地势较低的区域，存在部分灾害隐患，较易发地质灾害。低敏感区面积占全区的 7.45%，主要分布在龙溪河流域河谷、水库周边。

(4) 龙池区域震后共发育 48 条泥石流, 根据物源敏感性区划图, 将泥石流划分为高、中、低三级危险性, 其中高敏感区内爆发了 25 条泥石流沟属于高危险等级, 其中八一沟、麻柳沟、水打沟、水坞坪、椿芽树作为重点治理对象已经实施了勘查甚至完成了治理, 老场镇泥石流、碱平沟也纳入了治理范围。目前进行治理或者纳入治理范围的沟道与危险性划分基本一致, 也说明了此次龙池“8.13”泥石流危险性的分布同泥石流沟道内的物源条件关系较密切, 证明了在小流域范围内对于物源条件的敏感性分析是可以合理进行泥石流危险性划分的。

参考文献:

- [1] 许强. 四川省 8·13 特大泥石流灾害特点、成因与启示[J]. 工程地质学报, 2010, 18(5): 596-608.
- [2] 游勇, 陈兴长, 柳金峰. 四川绵竹清平乡文家沟“8.13”特大泥石流灾害[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 68-72.
- [3] 铁永波, 唐川. 四川省北川县暴雨泥石流的发育与汶川地震的响应特征[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 73-75, 81.
- [4] 黄润秋. 汶川地震地质灾害后效应分析[J]. 工程地质学报, 2011, 19(2): 145-151.
- [5] 唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. 山地学报, 2010, 28(3): 341-349.
- [6] 唐川, 丁军, 梁京涛, 等. 汶川震区北川县城泥石流源地特征的遥感动态分析[J]. 工程地质学报, 2010, 18(1): 1-3.
- [7] 齐信, 唐川, 铁永波, 等. 基于 GIS 技术的汶川地震诱发地质灾害危险性评价——以四川省北川县为例[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2010, 37(2): 160-167.
- [8] 吕义清, 刘鸿福, 李晓聪. 基于趋势面分析法的地质灾害危险性评价系统[J]. 水土保持通报, 2011, 31(2): 155-158.
- [9] 黄崇福. 自然灾害风险分析的基本原理[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 21-30.
- [10] 陶舒, 胡德勇, 赵文吉, 等. 基于信息量与逻辑回归模型的次生滑坡灾害敏感性评价——以汶川县北部为例[J]. 地理研究, 2010, 29(9): 1594-1605.
- [11] 向灵芝, 崔鹏, 张建强, 等. 汶川县地震诱发崩塌灾害影响因素的敏感性分析[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010, 42(5): 105-112.
- [12] 许湘华. 用 Logistic 回归模型编制滑坡灾害敏感性区划图的方法研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2010, 7(5): 87-91.
- [13] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988: 20-24.
- [14] 张建强, 崔鹏, 向灵芝, 等. 基于子流域的地震诱发崩塌敏感性评价[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2010, 42(S1): 43-49.
- [15] 庄建琦, 崔鹏, 葛永刚, 等. “5·12”汶川地震崩塌滑坡危险性评价——以都汶公路沿线为例[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(S2): 3735-3742.
- [16] 许冲, 戴福初, 姚鑫, 等. 基于 GIS 的汶川地震滑坡灾害影响因子确定性系数分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(Suppl): 2972-2981.
- [17] 朱良峰, 吴信才, 殷坤龙. 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.

Sensitivity Analysis on Mass of Debris Flows on the Longchi Region, Dujiangyan, Sichuan Province

Liu Yang¹, Tang Chuan¹, Li Weile¹, Zhong Huajie², Huang Wei¹,
Chen Hailong¹, Wang jinliang¹ and Tang Hongxu¹

(1. State Key Laboratory of Geo-Hazard Prevention and Geo-Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Urban Geological Environment Monitoring Station, Chengdu 610041, China)

Abstract: Wenchuan earthquake changed the geological environment of the southwest mountainous, effect of geological disasters produced and under the extreme weather on August 13, 2010 and August 19 led to many out-breaks of mountain flood and debris flow, including Dujiangyan Longchi area of mass outbreak of debris flow. By using AHP-Information method, Longchi area is selected as the research object to analyze the source material sensitivity of debris flow three conditions. Eight factors including roads in affected zone, elevation, slope, slope, vegetation coverage, the river impact are selected and subdivided into 37 levels. A sensitivity weight is set for each grade and ARCGIS platform is used to generate high, medium and low sensitive zoning maps. The results of the evaluation supplied basis for the possibility of debris flow in the future, and debris flow channels needed to be monitored and constructed are pointed out.

Key words: Longchi; mass of debris flows; AHP-Information method; ARCGIS; sensitivity analysis; Sichuan Dujiangyan