

重庆市山洪灾害详查点空间分布合理性研究*

张乾柱¹, 卢阳¹, 秦维², 辛新涪¹

(1. 长江水利委员会 长江科学院 重庆分院, 重庆 400026; 2. 武汉长江科创科技发展有限公司 重庆分公司, 重庆 400026)

摘要:【目的】考查 2013—2015 年重庆市山洪灾害详查点的合理性, 以便进一步指导后期的补充调查工作。【方法】利用 ArcGIS 10.0 空间分析与数据统计工具, 基于地貌、海拔、坡度、河网密度、降雨量等因子, 分析重庆市详查点和灾害点空间分布, 研究不同影响因素下详查点和灾害点的分布差异, 探讨山洪灾害详查点分布的合理性。【结果】结合目前重庆市山洪灾害防治分区特点, 分析重庆市山洪灾害调查工作薄弱区, 经研究得出以下结论: 1) 详查点与灾害点空间分布总体一致, 但在部分山洪灾害高发区详查点数量不足。从不同区域分布来看, 山洪灾害密度较高的渝东南部地区详查点密度最低; 从不同影响因素来看, 某些条件下区域详查点密度偏低, 如人口分布集中的 73~252 m 高程区、5°~15°坡度区、1 200~1 300 mm 降雨区及 1.6~4.7 km·km⁻² 河网密度区。2) 重庆市山洪灾害详查点分布符合防治分区情况, 然而对于一级重点防治区的山洪灾害详查工作略显不足。3) 根据山洪灾害易发区与详查薄弱区分布条件, 统计得出重庆市境内未来需详查范围达 4.58×10⁴ km²; 考虑到一级重点山洪灾害防治区, 这一范围面积为 1.96×10⁴ km², 其中渝东北地区需要详查的面积最大, 渝东南地区、渝西部地区及渝中部地区需要详查的面积则依次减少。【结论】2013—2015 年重庆市山洪灾害详查点总体符合山洪灾害发育规律, 但部分灾害高发区详查点不足, 在未来山洪灾害补充调查评价工作中, 应加强详查点薄弱区的调查工作。

关键词: 山洪灾害调查; 沿河村落详查点; 历史山洪灾害点; 影响因素; 重庆市

中图分类号: X4

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2018)01-0056-10

山洪灾害是指山丘区降雨引发的洪水及由此诱发的泥石流、滑坡、崩塌等造成人员伤亡、财产损失、基础设施及环境资源破坏的自然灾害^[1-3], 具有突发性、水量集中、破坏力大等特点。由于中国地处东亚季风区的特殊位置, 加之复杂地质条件、独特的地貌与气候类型及突出的人地矛盾, 因此境内山洪灾害频发。在中国, 有山洪灾害防治任务的山丘区面积达 4.63×10⁶ km², 约占中国陆地面积的 48%^[4]。重庆市位于中国西南部、长江上游地区, 境内山地、丘陵面积占 94%, 水系发达, 河流稠密。受地理条件影响, 重庆市是中国山洪灾害频发区和重灾区, 全市范围均属于山洪灾害防治区, 重点防治区所占比例高达 40%; 山洪灾害每年都造成了不同程度的人员伤亡和财产损失, 成为制约全市经济可持续发展的重要因素之一。按国家防汛抗旱总指挥部办公室要求, 在 2010—2012 年山洪灾害普查的基础上, 重庆市于 2013—2015 年开展了全境范围内山洪灾害调查评价工作, 项目投资总额达 8 824.20 万元。根据全国山洪灾害防治项目组下发的《山洪灾害调查技术要求》, 沿河村落详查点和历史山洪灾害点是山洪灾害重点调查对象。沿河村落详查点是指受山洪灾害威胁的沿河村落, 详查任务过程包括: 现场查勘和问询, 测量沟道纵断面, 记录最高洪水水位, 综合确定受山洪威胁的居民危险区, 并绘制转移路线和临时安置点。历史山洪灾害调查主要包括灾害发生地点、次数、规模、范围等, 统计建国以来累积山洪灾害损失。上述调查评价工作涉及全市 38 个有山洪灾害防治任务的区县, 由 4 家单位来分别完成。沿河村落详查点和历史山洪灾害点多采用当地水务部门报送和调查单位现场踏勘等方式确定。由于理解和经验的差异, 不同区县及调查单位报送的详查点条件不一, 是否能代表境内山洪灾害实际情况尚待论证, 而对它们的分布合理性分析则是科学评估山洪灾害调查评价工作的关键。作为自然灾害的一种, 山洪灾害的发生同时受承载体的危险性和易损性两方面影响, 其中地貌、海拔、坡度、河网密度、区域降雨量等^[5-13]是影响山洪灾害危险性的重要因素, 经济条件及人口分布等因子是衡量山洪灾害易损性的重要指标。与危险性相比, 易损性指标多以行政单元为单位

* 收稿日期: 2017-08-02 修回日期: 2017-09-24 网络出版时间: 2018-01-18 15:21

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研项目(No.CKSF2017027/CQ; No.CKSF2016034/CQ)

第一作者简介: 张乾柱, 男, 工程师, 博士, 研究方向为全球环境变化, E-mail: qianzhuzhang@163.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20180118.1521.030.html>

进行统计,数据缺少空间连续性,且山洪灾害防治分区本身已将易损性指标考虑在内。因此,本研究利用 ArcGIS 10.0 统计不同影响因素下详查点和灾害点的分布差异,同时结合目前重庆市山洪灾害防治分区特点,探讨山洪灾害详查点分布的合理性,分析重庆市山洪灾害调查工作薄弱区,从而进一步指导后期的补充调查工作,并为灾害防治工作提供数据与理论支撑。

1 研究区概况

重庆市处于青藏高原与长江中下游平原的过渡地带,位于东经 $105^{\circ}11' \sim 110^{\circ}11'$ 和北纬 $28^{\circ}10' \sim 32^{\circ}13'$ 范围内,总面积 $8.24 \times 10^4 \text{ km}^2$,包括四川盆地东南部和长江上游三峡库区。重庆市地貌类型多样,以山地、丘陵为主,分别占全市总面积的 75.8% 和 15.2%;区域内地貌组合地区分异明显,华蓥山—巴岳山以西为丘陵地貌,华蓥山至方斗山之间为川东平行岭谷区,北部为大巴山中山区,东部、东南部、南部属巫山与大娄山山区;区域内河流众多,主要一级支流包括嘉陵江、乌江、綦江、小江、大宁河、御临河、龙溪河等,均属长江水系;河流与山脉走向多垂向相交,河流切割构造发育,嘉陵江下游及长江干流油溪至涪陵段,河流横切川东褶皱带,长江干流涪陵至奉节段沿向斜构造方向延行,一级支流均切割构造注入长江,乌江自东南向西北于涪陵汇入长江,切割川东南陷褶皱带;河流切割构造形成诸多深切峡谷,易导致崩塌、滑坡多发,尤其在背斜两翼易发生顺层滑坡。

重庆市位于亚热带暖湿季风气候区,主要受高空西风环流、印度洋、太平洋季风控制,锋面、季风活动频繁,雨季分明;降水量年际变化和地区差异大,多年平均年降水量 $1\ 000 \sim 1\ 400 \text{ mm}$,主要集中在 5—10 月,为年降水量的 75%,存在多个暴雨区即大巴山暴雨区、七曜山及武陵山暴雨区、华蓥山及嘉陵江下游暴雨区。受自然环境条件影响,重庆市境内山洪灾害频发,给人民生命和财产安全造成了巨大的损失;山洪灾害几乎年年发生,特别是进入 20 世纪 80,90 年代后,山洪灾害损失呈上升趋势。

2 数据来源及处理方法

在本研究分析过程中,主要使用到的数据包括山洪灾害详查点、历史山洪灾害点、高程分级、坡度分级、多年年均降雨量、河网密度等(表 1)。在获取上述数据基础上,利用 ArcGIS 10.0 空间分析工具,将山洪灾害详查点、历史山洪灾害点与地貌、高程、坡度、降雨量及河网密度分别叠加,统计它们在不同地貌、高程、坡度、降雨量及河网密度分区条件下的空间分布,计算 5 种要素不同分区下山洪灾害发生次数,根据山洪灾害次数与不同因素分区面积计算山洪灾害密度,探讨详查点空间分布的合理性。

表 1 文中所使用数据来源情况
Tab. 1 The data sources used in this article

数据类型	来源
山洪灾害详查点	2013—2015 年度山洪灾害调查
历史山洪灾害点	2013—2015 年度山洪灾害调查
地貌类型	利用 ArcGIS 10.0 矢量化全国 1:4 000 000 地貌图,得到重庆市地貌单元分布及面积
高程分级	在国家地理数据中心平台下载重庆市 DEM(数值高程模型)图,通过 ArcGIS 10.0 空间分析工具,获取重庆市地势变化定量特征,统计高程分级
坡度分级	根据上述数字高程模型,经 ArcGIS 10.0 坡度分析工具生成坡度信息图层,并对坡度进行范围分级和多边形融合,得到重庆市土地坡度分级图,并统计各级坡度面积
多年年均降雨量	利用中国气象数据网(http://data.cma.cn/data)提供的重庆市范围内 33 个基站多年年均降雨量(1981—2010 年)数据,在 ArcGIS 10.0 中建立年降雨量等值线图,通过克里金(Kriging)插值法获得重庆市多年年均降雨量分布图,并对降雨量进行分级统计
河网密度	在 ArcGIS 10.0 中,利用水文分析模块对重庆市 DEM 数据进行洼地填平、水流方向计算及水流积聚计算,经河网矢量化转化为重庆市水系图,对水系图进行单元分割,统计各单元水系长度总和,水系长度和与单元面积之比即为单元格水系密度值 ^[14]

3 山洪灾害详查点与历史山洪灾害点分布统计

在此次山洪灾害调查中,共计详查了3 545个受山洪灾害严重威胁的沿河村落点(表 2),其中,武隆区详查点数量最多,达 260 个;云阳县、奉节县及忠县的详查点数量次之,分别为 255,237,216 个;大渡口和江北区数量最少,仅 2 个。按区域划分来看,渝西部地区的详查点数量最多,为 1 173 个;其次为渝东北部地区,为 1 114 个;渝中部地区数量最少,为 552 个。前两者详查点之和占总量的 64.51%。全市境内沿河村落详查点平均密度为 $0.043 \text{ 个} \cdot \text{km}^{-2}$ 。从各区县详查点密度来看,沙坪坝区的密度最高,达 $0.116 \text{ 个} \cdot \text{km}^{-2}$,忠县、武隆区及潼南区次之,渝北区的最小,仅为 $0.005 \text{ 个} \cdot \text{km}^{-2}$ 。对比不同地区详查点密度发现,详查点数量最少的渝中部地区密度最高,其次为渝西部地区、渝东北部地区。境内渝西和渝东北部地区是山洪灾害频发区,成为此次山洪灾害详查的重点区域,但是尽管两地区详查点数量占绝对优势,考虑到区域内面积广阔,详查点密度平均值反而低于详查点少且面积小的渝中部地区。

有史料记录的山洪灾害在重庆市范围内共发生了 823 次。从历史山洪灾害发生次数来看,开州区的灾害发生次数最多,达 113 次;巴南区、璧山区及北碚区次之,涪陵区、大渡口区、沙坪坝区及合川区的次数最少,均仅有 4 次(表 2)。从区域分布来看,渝西地区的次数最多,为 329 次;其次为渝东北地区,为 243 次;渝中部地区的次数最少,为 57 次。境内历史山洪灾害点平均密度为 $0.01 \text{ 个} \cdot \text{km}^{-2}$,不同区县之间差异较大,九龙坡区的密度最高,达 $0.072 \text{ 个} \cdot \text{km}^{-2}$,涪陵区的密度最小,仅为 $0.01 \text{ 个} \cdot \text{km}^{-2}$ 。渝西部地区山洪灾害密度最大,其次为渝东南部地区的密度,渝中部地区的密度最小(图 1)。

重庆市境内山洪灾害详查点总数约为历史山洪灾害点的 4 倍以上,详查点区域基本覆盖了历史山洪灾害点,但不同区县差异较大。在大渡口区、江北区、北碚区及彭水县,山洪灾害详查点少于历史山洪灾害点。从区域数量统计结果来看,山洪灾害详查点与历史山洪灾害点基本一致,渝西部地区的最多,渝东北部地区、渝东南地区及渝中部地区的则依次减少;从区域密度统计分布来看,在山洪灾害密度最小的渝中部地区详查点密度最高,而山洪灾害密度较高的渝东南部地区详查点密度最低(图 1)。

表 2 重庆市境内沿河村落详查点与历史山洪灾害点分布

Tab. 1 The mountain torrent disaster points and detailed survey points along rivers in Chongqing

区县	山洪灾害 详查点 数量/个	历史山洪 灾害点 数量/个	区县	山洪灾害 详查点 数量/个	历史山洪 灾害点 数量/个	区县	山洪灾害 详查点 数量/个	历史山洪 灾害点 数量/个
万州区	92	7	江津区	96	7	垫江县	58	10
涪陵区	96	4	合川区	133	4	武隆区	260	11
大渡口区	2	4	永川区	127	5	忠县	216	31
江北区	2	5	南川区	79	17	开州区	130	113
沙坪坝区	25	4	綦江区	136	9	云阳县	255	7
九龙坡区	50	31	潼南区	143	5	奉节县	237	22
南岸区	18	16	铜梁区	78	36	巫山县	90	32
北碚区	16	46	大足区	60	8	巫溪县	86	41
万盛区	32	7	荣昌区	44	21	石柱县	44	39
渝北区	7	5	璧山区	67	48	秀山县	112	18
巴南区	58	51	梁平区	132	6	酉阳县	198	5
黔江区	58	5	城口县	92	15	彭水县	34	116
长寿区	74	7	丰都县	108	5			

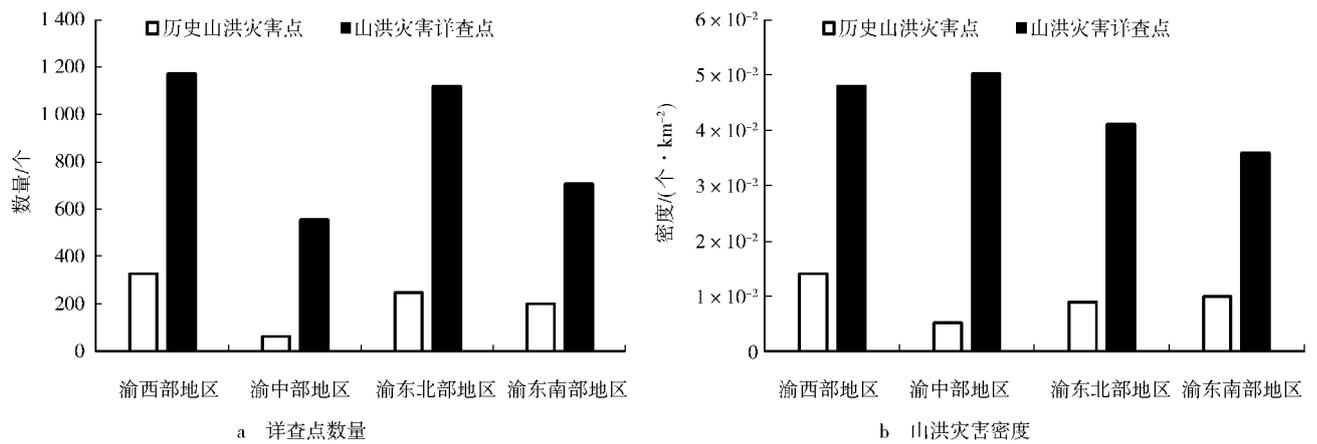


图 1 各地区沿河村落详查点与历史山洪灾害数量与密度

Fig. 1 The number and density of mountain torrent disaster points and detailed survey points

4 山洪灾害详查点分布合理性讨论

受区域环境条件差异影响,山洪灾害诱因众多,各因素之间互相影响、相互联系。总体而言,区域内降雨是引发山洪灾害的直接因素^[5,15],地形地貌和河网水系等下垫面条件为灾害的发生提供了孕育环境^[16-17]。为考察沿河村落山洪灾害详查点布设的合理性,分别统计详查点在不同地貌、高程、坡度、降雨、河网密度下分布规律,并与 823 个历史山洪灾害点对比。

4.1 不同因素下山洪灾害详查点分布

1) 地貌因素。统计 3 545 个详查点在不同地貌单元分布情况(表 3),可以发现,低海拔小起伏山地区详查点分布比例最高,达 24.68%,其次为低海拔丘陵区、中海拔大起伏山区及中海中起伏山区,分别占 22.84%,22.53%及 18.33%,该分布规律与不同地貌单位山洪灾害点拟合出的山洪灾害密度一致。上述 4 种地貌单元区是山洪灾害详查点主要分布区,区域内详查点比例之和为 88.39%,同时该区域也是山洪灾害点的主要分布区,灾害点数量共占总数的 84.9%。上述规律揭示了,山洪灾害详查点在不同地貌单位的分布与山洪灾害点、拟合山洪灾害密度一致,低海拔小起伏山地区、低海拔丘陵、中海拔大起伏山区及中海中起伏山区是山洪灾害高发区,同时也成为本次山洪灾害详查的重点区域。

2) 高程因素。由 3 545 个详查点在不同高程区分布统计结果显示(表 3),沿河村落详查点全部分布在 1 600 m 以下区域,其中,800 m 以下区域详查点比例高达 90.52%,同时也是山洪灾害点主要分布区(88.59%)。200~400 m 高程区是详查点最为集中分布区,分布比例高达 53.10%,与山洪灾害点分布特征一致,其次为 400~600 m 高程区。从不同高程区山洪灾害密度分布来看,山洪灾害发生密度最大的 73~200 m 高程区,详查点比例仅为 3.82%。以往的研究资料证实,152~252 m 低海拔区为重庆市人口密度最高区域^[18-21],随海拔升高居民点密度呈降低趋势,然而这一区间内详查点比例仅为 17.69%,同时,80%分布在 200~252 m 范围内,152~200 m 范围内详查点数量相对偏少。

3) 坡度因素。据 3 545 个沿河详查点在不同坡度区分布统计结果可知(表 3),此次山洪灾害详查点主要分布在 25°以下的坡度区,尤其在低于 15°坡度区,集中分布了 92.78%的详查点,其中 5°以下坡度区比例最高区域,占 52.98%,其分布规律与山洪灾害比例一致。对比拟合山洪灾害密度分布,5°~15°坡度区山洪灾害密度约为 5°坡度区的 3 倍,据统计,5°~10°坡度区是人口密度分布最为集中区域^[21],然而该区域内详查点比例相对较少。

4) 降雨因素。根据境内多年年平均降雨分区,统计不同降雨等级区详查点比例,分析结果表明,近 90.27%的沿河村落详查点分布在 1 000~1 100 mm,1 100~1 200 mm,1 200~1 300 mm 降雨区内(表 3),同时,1 100~1 200 mm 降雨区详查点比例最高,达 43.19%,分布规律与山洪灾害、拟合山洪灾害密度基本一致。1 200~1 300 mm 降雨区山洪灾害分布数量和密度仅次于 1 100~1 200 区间,然而,从详查点比例来看,1 200~1 300 mm 降雨区详查点数量却同时低于 1 100~1 200 mm 和 1 000~1 100 mm 范围,在未来山洪灾害补充调查

工作中,应尽量增加该区域内详查点数量。

5) 河网密度因素。在不同河网密度区中,0.8~1.2 km·km⁻² 区域沿河村落详查点比例最高,达 29.65%,其次分别为 1.2~1.6 km·km⁻²,0.4~0.8 km·km⁻²,1.6~4.7 km·km⁻² 及 0~0.4 km·km⁻²,分布规律与山洪灾害点基本一致。在不同河网密度区,随河网密度增加,拟合山洪灾害密度值升高(表 3)。据资料统计,重庆市居民点密度随河流缓冲区半径增加而减少^[21],在某种程度上说明了多数村落沿河而居的特点。上述现象表明,境内河网分布越密集的地方,居民点越集中,同时山洪灾害发生频率越高。因此,高河网密度区应该为山洪灾害详查的重点区域,从详查点比例来看,1.6~4.7 km·km⁻² 河网密度区比例相对偏低。

表 3 不同地貌单位详查点与历史山洪灾害点分布

Tab. 3 The mountain torrent disaster points and detailed survey points in the different geomorphic units

数据类型	地貌单位	历史山洪灾害点分布比例/%	山洪灾害密度/(×10 ⁻⁴ 次·km ⁻²)	详查点统计比例/%	数据类型	地貌单位	历史山洪灾害点分布比例/%	山洪灾害密度/(×10 ⁻⁴ 次·km ⁻²)	详查点统计比例/%
坡度/(°)	<5	43.00	95.09	52.98	多年 年均 降雨量 /mm	900~1 000	0.12	33.24	1.69
	5~15	41.26	282.15	39.80		>1 000~1 100	16.63	69.56	28.77
	>15~25	12.52	59.08	5.84		>1 100~1 200	59.36	120.05	43.19
	>25~35	2.73	21.26	1.16		>1 200~1 300	20.81	107.51	18.31
	>35	0.50	7.04	0.23		>1 300~1 400	3.08	38.93	8.04
不同 高程 分级	73~200	7.43	371.2	3.82	河网 密度/ (km· km ⁻²)	0~0.4	10.78	46.60	6.88
	>200~400	49.07	179.84	53.10		>0.4~0.8	13.48	48.03	17.77
	>400~600	15.49	75.17	21.12		>0.8~1.2	27.57	106.27	29.65
	>600~800	16.60	105.85	12.47		>1.2~1.6	25.49	159.30	28.55
	>800~1 000	6.20	51.15	5.00		>1.6~4.7	22.67	289.66	17.15
	>1 000~1 200	3.47	42.72	3.13	不同 地貌 单位	中高海拔大起伏山地	4.73	59.9	3.71
	>1 200~1 400	0.99	17.11	1.03		中海拔大起伏山地	25.53	96.93	22.53
	>1 400~1 600	0.62	15.73	0.29		中海拔中起伏山地	16.44	82.52	18.33
	>1 600~1 800	0.00	0.00	0.00		中海拔小起伏山地	0.25	30.02	1.35
	>1 800~2 000	0.12	8.09	0.00		低海拔中起伏山地	3.99	86.72	5.29
>2 000~2 200	0.00	0.00	0.00	低海拔小起伏山地	25.40	133.80	24.68		
>2 200~2 800	0.00	0.00	0.00	低海拔丘陵	22.79	118.75	22.84		

总之,在不同地貌单位,山洪灾害详查点与历史山洪灾害点、拟合山洪灾害密度分布基本一致;从不同高程分级区来看,山洪灾害发生密度最大的 73~200 m 高程区,详查点比例相对偏少,尤其应该对人口分布最为集中的 152~252 m 范围进行补充调查;5°~15°坡度区是山洪灾害密度最高值区,然而该区域内详查点比例相对较少;不同降雨区山洪灾害详查点数量与分布,基本与历史山洪灾害点情况一致,但在山洪灾害密度较高的 1 200~1 300 mm 降雨区,详查点数量分布不足;从居民点和山洪灾害密度来看,高河网密度区应该为山洪灾害详查的重点区域,然而 1.6~4.7 km·km⁻² 河网密度区详查点比例相对偏低。

4.2 山洪灾害详查点在山洪灾害防治区分布情况

在《重庆市山洪防治规划报告(2005 年)》中,考虑重庆市降雨、地形、地质特性(危险性)和经济条件(易损性)的基础上,结合重庆降雨触发灾害的频率、地质灾害发育的程度、危害及规划区内经济社会发展的实际情况,将溪河洪水灾害重点防治区、山洪诱发泥石流和滑坡灾害重点防治区及历史上山洪灾害频发后灾害损失严重的区域划为重点防治区,将山丘区除重点防治区以外有山洪灾害防治任务的地区划为一般防治区(表 4)。根据重点

防治区内山洪灾害发生频率分为一级重点防治区(十年一遇降雨量达临界降雨量)和二级重点防治区(十年至二十年一遇降雨达临界降雨量)。根据划分结果,重庆市境内重点防治区总面积53 820.3 km²,占整个防治区面积的65.2%,其中,一级重点防治区和二级重点防治区面积分别为31 468.6 km²,22 351.7 km²;一般防治区总面积为28 582.7 km²,占总防治区面积的34.8%。

表 4 山洪灾害防治分区与详查点分布情况

Tab. 4 The detailed mountain torrent disaster survey points and mountain torrent disaster prevention zones

防治区分区	面积/km ²	详查点数量/个	分布区域
重点防治区	一级重点防治区	1 453	渝东北部云阳、开县、万州的小江流域;巫溪、巫山的大宁河流域;酉阳、秀山、黔江、彭水的乌江、郁江流域;石柱、丰都的龙河流域;重庆市都市经济发达圈中的嘉陵江流域的合川、北碚、渝北区;渝西经济走廊中的綦江、万盛区
	二级重点防治区	1 019	
一般防治区	28 582.7	1 074	渝西南中低山丘陵永川、潼南、荣昌、巴南防治区,渝中石柱、忠县等地零星平行岭谷滑坡防治区、渝东南秀山、彭水峡谷中山滑坡防治区,渝东北城口、巫溪高山区的滑坡泥石流防治区

为考查详查点空间分布合理性与山洪灾害防治区之间关系,分别统计不同地貌、高程、坡度、降雨及河网密度因素下山洪灾害重点防治区分布比例,发现它们与不同因素条件下详查点比例呈具有统计学意义的正相关关系($p < 0.01$),揭示详查点的空间分布基本符合山洪灾害防治要求(图 2)。进一步统计不同防治区详查点数量与密度,重点防治区和一般防治区内山洪灾害详查点分别为 2 471 个与 1 074 个,二者详查点数量比值高于相应的面积比。重点防治区内山洪灾害详查点密度分别为 4.6×10^{-2} 个 $\cdot \text{km}^{-2}$,高于一般防治区内的 3.8×10^{-2} 个 $\cdot \text{km}^{-2}$,在重点防治区中,一级重点防治区和二级重点防治区内山洪灾害详查点密度基本一致。总体来看,重庆山洪灾害详查点分布符合防治分区情况,境内山洪灾害重点防治区是此次山洪灾害的重点详查对象,然而,一级重点防治区作为境内山洪灾害高发区,对该区域详查力度理应强于其他分区,但它的详查点密度却与二级重点防治分区相当,因此,以后的补充调查经费和人员安排应尽量向该区域的区县倾斜。

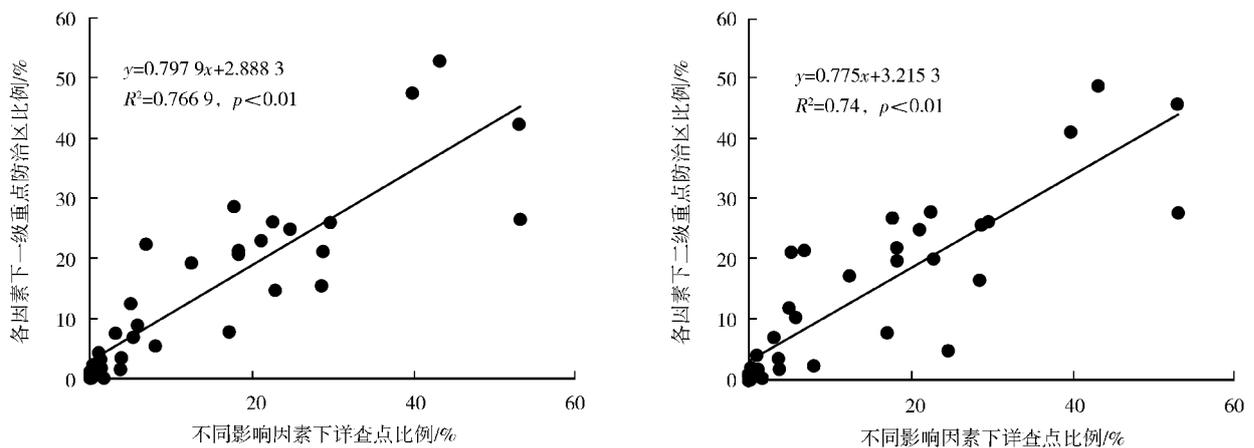


图 2 不同影响因素下详查点比例与重点防治区分布比例相关性

Fig. 2 The correlation between the proportion of detailed survey points and key disaster prevention zones in different factors

4.3 未来山洪灾害需要补充调查区域

针对不同地貌、高程、坡度、降雨量及河网密度影响因素下详查点情况,探讨详查点分布的合理性,根据上述分析结果,建立山洪灾害易发与详查薄弱区,在未来山洪灾害补充调查评价工作中,需重点加强该区域的调查工作(图 3a),在此基础上,统计详查点在各区县的面积分布,共计 $4.58 \times 10^4 \text{ km}^2$ (表 5),约占重庆市总面积的 56%。在山洪灾害防治分区中,一级重点防治区是山洪灾害易发区,又根据详查点在该区域范围内分布情况可知,此次山洪灾害调查在该区域内略显不足,因此,对于一级重点防治区内的需详查范围的调查应为未来

山洪灾害补充调查工作的重中之重。统计结果显示,境内一级重点山洪防治区内需详查范围总面积达 $1.96 \times 10^4 \text{ km}^2$ (表 5),约占重庆市总面积的 24%。从区域分布情况来看,需详查区面积表现出,渝东北地区面积多,其次分别为渝东南地区、渝西部地区及渝中部地区(图 4a)。考虑到各地区面积差异显著,计算需详查区和一级重点防治区内需详查区占总面积的比例,以此作为衡量各区域未来山洪灾害补充调查范围大小,统计结果显示,渝东北部地区需详查区比例最高达 70%,渝东南部地区约有 62%,渝西部地区最低仅为 34%,考虑到一级重点防治区在各地区的分布,反而渝中部地区比例略高于渝东北部地区,其次为渝东南部地区和渝西部地区(图 4b)。

为定量评估各区县山洪灾害调查工作合理性,分别统计详查点在需详查区内个数和密度,结果显示,在 3 545 个山洪灾害详查点中,1 830 个(约 52%)分布在需详查区范围内,分布密度范围为 $0.19 \times 10^{-2} \sim 15.14 \times 10^{-2} \text{ 个} \cdot \text{km}^{-2}$,同时,统计需详查区面积占总土地面积比例。对于山洪灾害补充调查工作而言,需详查区比例愈高、需详查区已有详查点密度愈低,未来补充调查工作愈重要。因此,以“需详查区比例/需详查区已有详查点密度”值作为各区县补充调查工作重要程度,并对该值进行 0~100 归一化赋分,得到重庆市各区县未来补充调查工作重要度分布图(图 3b)。总体来看,彭水县、石柱县、万州区、开州区、城口县及渝北区等是未来山洪灾害补充调查工作的重要区县,酉阳县、江津区、丰都县、涪陵区及北碚区等是未来补充调查工作的次要区县,潼南区、铜梁区、大足区及荣昌区等渝西地区部分区县补充调查工作重要度最低,当未来山洪灾害补充调查工作资金受限时,可参考上述结果进行统筹安排。

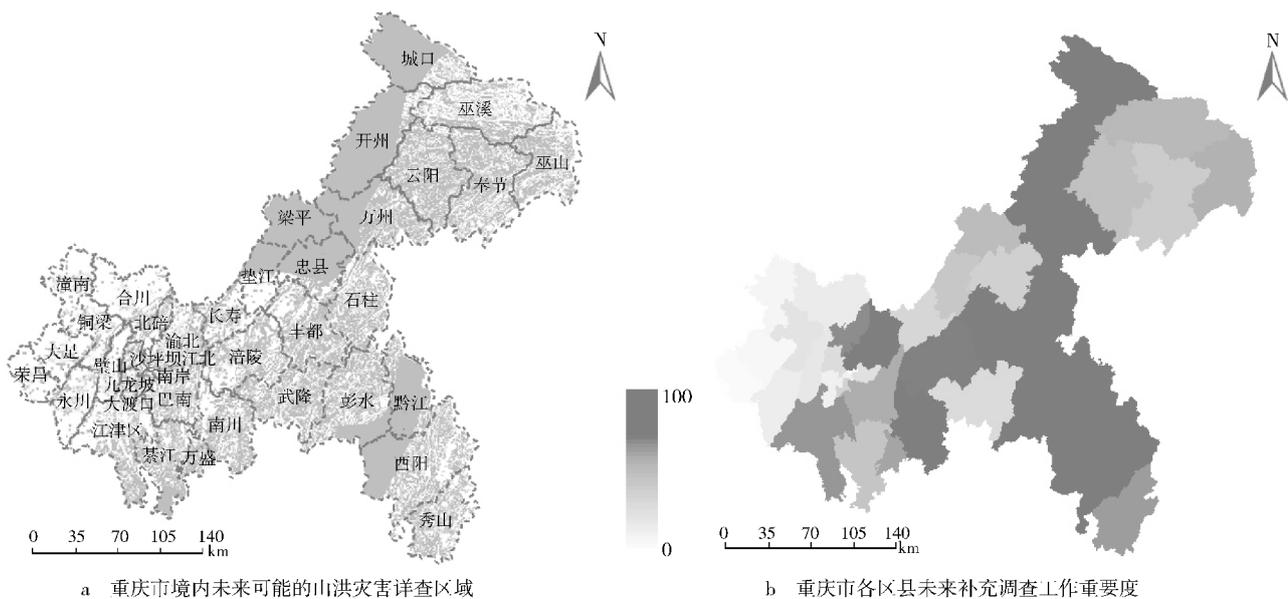


图 3 重庆市境内未来可能的山洪灾害详查区域与各区县未来补充调查工作重要度

Fig. 3 The possible detailed survey zones and the importance of supplementary investigation work in the future

5 结论

1) 在 2013—2015 年山洪灾害调查工作中,共计详查 3 545 个受山洪灾害严重威胁的沿河村落点,调查了 823 个历史山洪灾害点;二者区域数量分布基本一致,即在渝西部地区最多,在渝东北部地区、渝东南地区及渝中部地区分布则逐次减少。从区域密度统计来看,在山洪灾害密度最小的渝中部地区详查点密度最高,而山洪灾害密度较高的渝东南部地区详查点密度最低。

2) 对比山洪灾害详查点与历史山洪灾害点分布规律,不同地貌单位、高程区、坡度区、降雨区及河网密度区,山洪灾害详查点与境内山洪灾害分布情况总体一致。然而,在部分山洪灾害高发区,详查点数量相对偏少,如山洪灾害发生密度最大的 73~200 m 高程区、人口分布最为集中的 152~252 m 高程区、 $5^\circ \sim 15^\circ$ 坡度区、1 200~1 300 mm 降雨区及 $1.6 \sim 4.7 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ 河网密度区。总体来看,重庆山洪灾害详查点分布与防治分区情况相符,然而对于一级重点防治区的山洪灾害详查工作略显不足。

表 5 各区县范围内需详查区与详查点分布情况

Tab. 5 The detailed survey zones and detailed survey points in different districts

区县	需详查区 面积/km ²	一级重点防治 区内需详查区 面积/km ²	需详查 区比例 /%	需详查区 已有详查 点密度/(个· km ⁻²)	区县	需详查区 面积/km ²	一级重点防治 区内需详查区 面积/km ²	需详查区 比例/%	需详查区 已有详查 点密度/(个· km ⁻²)
巴南区	907.65	162.04	49.73	0.030 8	黔江区	1 913.31	395.47	79.65	0.022 0
北碚区	326.97	139.86	43.31	0.021 4	荣昌区	59.46	—	5.52	0.151 4
璧山区	270.51	31.74	29.58	0.077 6	沙坪坝区	162.29	21.13	40.98	0.067 8
城口县	2 675.93	—	81.43	0.032 1	石柱县	1 728.13	1 135.37	57.34	0.008 1
大渡口区	30.76	—	29.86	0.032 5	铜梁区	287.64	93.94	20.03	0.048 7
大足区	174.96	16.27	12.18	0.148 6	潼南区	146.48	3.61	9.25	0.095 6
垫江县	788.56	531.95	51.93	0.053 3	万盛区	345.68	195.69	61.18	0.037 6
丰都县	1 688.44	766.55	57.92	0.023 7	万州区	2 684.27	1 422.20	77.89	0.022 0
奉节县	2 456.03	278.71	60.09	0.063 9	巫山县	1 502.92	918.64	50.81	0.033 3
涪陵区	1 407.96	934.15	47.87	0.021 3	巫溪县	1 703.02	237.30	42.26	0.030 5
合川区	369.52	284.19	15.80	0.048 7	武隆区	1 736.05	766.04	59.84	0.097 3
江北区	101.87	31.28	46.14	0.009 8	秀山县	1 172.50	0.04	47.85	0.027 3
江津区	1 221.99	643.02	37.96	0.020 5	永川区	360.52	14.55	22.88	0.080 4
九龙坡区	127.09	0.01	29.43	0.125 9	酉阳县	3 241.62	1 346.44	62.66	0.026 5
开州区	3 584.05	3 306.85	90.53	0.036 3	渝北区	531.99	283.36	36.52	0.001 9
梁平区	1 827.48	342.34	96.69	0.071 1	渝中区	10.29	—	43.40	—
南岸区	116.22	—	43.86	0.086 0	云阳县	2 551.57	1 901.70	69.93	0.058 8
南川区	1 327.89	775.20	51.05	0.019 6	长寿区	494.12	365.97	34.71	0.048 6
彭水县	2 510.30	279.26	64.32	0.007 2	忠县	1 865.09	789.13	85.28	0.092 8
綦江区	1 380.90	1 150.92	63.31	0.055 0	总计	45 792.04	19 564.92	—	—

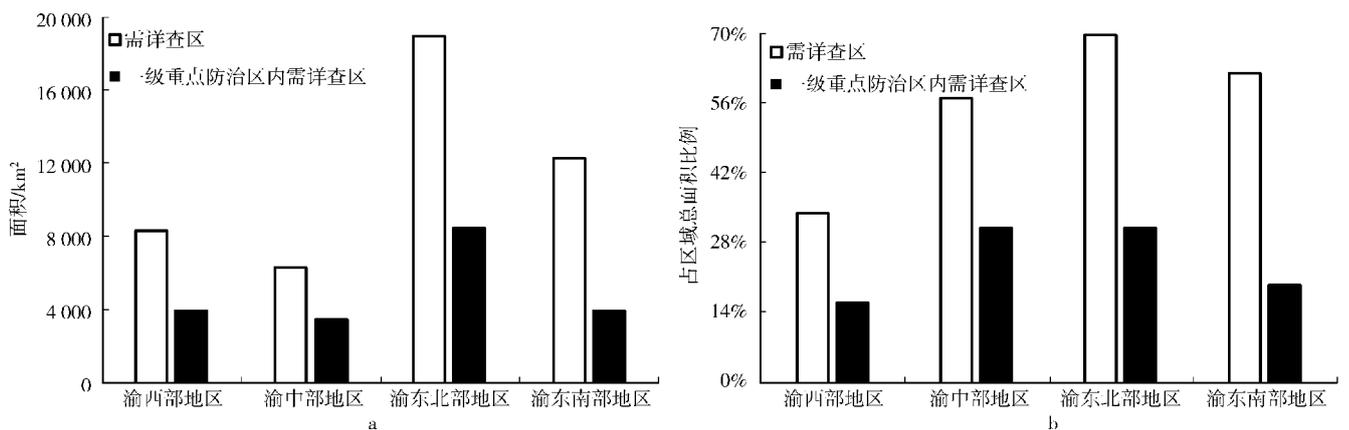


图 4 各地区范围内需详查区、一级重点山洪防治区内需详查区面积和占总面积的比例

Fig. 4 The areas and percentages of detailed survey zones in different districts and primary key mountain flood control area

3) 根据山洪灾害易发区与详查薄弱区分布条件,统计得出,重庆市境内未来需详查范围达 $4.58 \times 10^4 \text{ km}^2$; 考虑到一级重点山洪防治区,这一范围面积为 $1.96 \times 10^4 \text{ km}^2$;从总体分布来看,渝东北地区需要详查的最大面积,渝东南地区、渝西部地区及渝中部地区需要详查的面积则依次减少。从详查区分布比例来看,该比例在渝东北部地区最高,达 70%;在渝东南部地区约有 62%;在渝西部地区最低,仅为 34%;考虑到一级重点防治区在各

地区的分布,渝中部地区需详查区比例比渝东北部地区的略高,渝东南部地区和渝西部地区的这一比例则更低。具体到各区县而言,彭水县、石柱县及万州区等是未来山洪灾害补充调查工作的重要区县,酉阳县、江津区及丰都县等区县补充调查相对次要,潼南区、铜梁区及大足区等渝西地区部分区县补充调查工作重要度最低。

参考文献:

- [1] 赵士鹏.基于 GIS 的山洪灾情评估方法研究[J].地理学报, 1996,19(5):471-479.
ZHAO S P. An elementary study on whole characteristics of mountain torrents disaster system in China and its hazard regionalization[J]. Acta Geographica Sinica, 1996, 19(5):471-479.
- [2] 国家防汛总指挥部办公室.山洪泥石流滑坡灾害及防治[M].北京:科学出版社,1994.
Office of the State Flood Prevention and Drought Resistance Headquarter. Mountain torrents, debris flow, landslide disaster and its prevention[M]. Beijing: Science Press, 1994.
- [3] 赵士鹏.中国山洪灾害系统的整体特征及其危险度区划的初步研究[J].自然灾害学报,1996(3):93-99.
ZHAO S P. An elementary study on whole characteristics of mountain torrents disaster system in China and its hazard regionalization[J]. Journal of Natural Disasters, 1996(3):93-99.
- [4] 长江水利委员会.全国山洪灾害防治规划报告[R].武汉:长江水利委员会,2005.
Changjiang Water Resources Commission. The mountain torrent disaster prevention and control of the national planning report[R]. Wuhan: Changjiang Water Resources Commission, 2005.
- [5] 任洪玉,邹翔,张平仓.我国山洪灾害成因分析[J].中国水利,2007(14):18-20.
REN H Y, ZHOU X, ZHANG P C. An elementary study on causing-factors of Chinese mountain torrents disaster[J]. China Water Resource, 2007(14):18-20.
- [6] 石凝.闽江流域灾害性洪水形成机理分析[J].水文,2001, 21(3):30-33.
SHI N. Analysis of formation mechanism of disastrous flood in Minjiang river basin. [J]. Hydrology, 2001, 21(3): 30-33.
- [7] 孙厚才,沙耘,黄志鹏.山洪灾害研究现状综述[J].长江科学院院报,2004,21(6):77-80.
SUN H C, SHA Y, HUANG Z P. Review of present situation in studying mountain torrents disaster[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2004, 21(6):77-80.
- [8] 胡凯衡,葛永刚,崔鹏,等.对甘肃舟曲特大泥石流灾害的初步认识[J].山地学报,2010,28(5):628-634.
HU K H, GE Y G, CUI P, et al. Preliminary analysis of extra-large-scale debris flow disaster in Zhouqu county of Gansu province[J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(5):628-634.
- [9] 高煜中,邢俊江,王春丽,等.暴雨山洪灾害成因及预报方法[J].自然灾害学报,2006,15(4):65-70.
GAO Y Z, XING J J, WANG C L, et al. Cause and forecast of mountain flood from rainstorm[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4):65-70.
- [10] 谢洪,陈杰,马东涛.2002年6月陕西佛坪山洪灾害成因及特征[J].灾害学,2002,17(4):42-47.
XIE H, CHEN J, MA D T. Causes and characteristics of the torrential flood disaster in June, 2002 in Foping of Shaanxi[J]. Journal of Catastrophology, 2002, 17(4):42-47.
- [11] 韦方强,崔鹏,钟敦伦.泥石流预报分类及其研究现状和发展方向[J].自然灾害学报,2004,13(5):10-15.
WEI F Q, CUI P, ZHONG D L. Classification of debris flow forecast and its present status and development in research [J]. Journal of Natural Disaster, 2004, 13(5):10-15.
- [12] 赵健,范北林.全国山洪灾害时空分布特点研究[J].中国水利,2006(13):45-47.
ZHAO J, FAN B L. Characteristics of temporal and spatial distribution of mountain flood in China[J]. China Water Resources, 2006(13):45-47.
- [13] 杜俊,丁文峰,任洪玉.四川省不同类型山洪灾害与主要影响因素的关系[J].长江流域资源与环境,2015,24(11): 1977-1983.
DU J, DING W F, REN H Y. Relationships between different types of flash flood disasters and their main impact factors in the Sichuan province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(11):1977-1983.
- [14] 王金艳,黄永林,谭慧明,等.利用 ArcGIS 生成水系密度的方法[J].地理空间信息,2010,8(6):101-102.
WANG J Y, HUANG Y L, TAN H M, et al. New method for drawing river density map with ArcGIS[J]. Geospatial Information, 2010, 8(6):101-102.
- [15] 刘效雨.重庆市山洪灾害的初步研究[D].重庆:西南大学, 2009.
LIU X Y. Study on the mountain torrents disasters in Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2009.
- [16] 张骞.基于 GIS 的北京地区山洪灾害风险区划研究[D].北京:首都师范大学,2014.
ZHANG Q. Study on risk zoning of mountain torrents disaster in Beijing based on GIS[D]. Beijing: Capital Normal University, 2014.
- [17] 唐川,朱静.基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J].地理学报, 2005,60(1):87-94.
TANG C, ZHU J. A GIS based regional torrent risk zonation[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1):87-94.

- [18] 杨春.山地型农村居民点空间分布特征及其布局优化研究[D].西安:西北大学,2012.
YANG C.Study on spatial distribution characteristics and layout optimization of rural residential area in mountainous area[D].Xi'an:Northwest University,2012.
- [19] 朱翠霞,陈阿林,刘琳.基于GIS的区域人口统计数据空间化:以重庆都市区为例[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2013,30(5):50-55.
ZHU C X,CHEN A L,LIU L.Based on GIS regional population statistic data of space;taking urban Chongqing as an example[J].Journal of Chongqing Normal University (Natural Science),2013,30(5):50-55.
- [20] 张霞,魏朝富,倪九派,等.重庆市低山丘陵区农村居民点分布格局及其影响因素[J].中国农业资源与区划,2012,33(3):45-50.
ZHANG X,WEI C F,NI J P,et al.Distribution patterns and influence factors of rural settlements in the hilly and mountainous areas in Chongqing municipality[J].Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning,2012,33(3):45-50.
- [21] 李静,罗灵军,钱文进,等.基于GIS的重庆市人口空间分布研究[J].地理空间信息,2013,11(2):42-46.
LI J,LUO L J,QIAN W J,et al.Study on spatial distribution of population in Chongqing based on GIS[J].Geospatial Informantion,2013,11(2):42-46.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

The Study on Spatial Rationalities of Detailed Mountain Torrent Disaster Survey Points in Chongqing

ZHANG Qianzhu¹, LU Yang¹, QIN Wei², XIN Xinfu¹

(1. Chongqing Branch, Changjiang River Scientific Research Institute, Changjiang Water Resources Commission, Chongqing 400026; 2. Chongqing Branch, Wuhan Changjiang Kechuang Technology Development Co., Ltd., Chongqing 400026, China)

Abstract: [Purposes] It aims to investigate the reasonability of detailed mountain torrent disaster survey points in 2013—2015 and further guide the later supplementary investigation. [Methods] According to the spatial analysis and data statistics tools of ArcGIS 10.0, the spatial characteristics detailed mountain torrent disaster survey points and mountain torrent disaster points were discussed and the rationality of the distribution of detailed mountain torrent disaster survey points was demonstrated. [Findings] Based on the characteristics of the mountain torrent disaster prevention and control in Chongqing, it analyzes the weak work area of the mountain torrent disaster investigation in Chongqing and draws the following conclusions: 1) Despite that the spatial distribution of detailed mountain torrent disaster survey points accorded with disaster points, however, those amount were insufficient in some regions with high disaster. The density of detailed mountain torrent disaster survey points in Southeast Chongqing with the higher disaster density was lowest in view of regions. From the different influencing factors, the densities of detailed mountain torrent disaster survey points were low under certain conditions, such as 73~252 m elevation area, 5°~15° slope area, 1 200~1 300 mm rainfall area and 1.6~4.7 km·km⁻² river network density area. 2) The distribution of detailed mountain torrent disaster survey points were in line with those of mountain torrent disaster controlling zone, however, which in the primary key controlling zone were slightly inadequate. 3) The 4.58×10⁴ km², necessary to be checked in the future, in Chongqing were estimated according to the distribution condition of easy disaster occurrence and weak survey checking area. The area of those zones were narrowed to 1.96×10⁴ km², in consideration of the distribution of the primary key controlling zone with the largest area in Northeastern Chongqing, respectively followed by the Southeastern, West and Central of Chongqing area. [Conclusions] The detailed investigation of mountain torrents during 2013—2015 in Chongqing was in accordance with the law of mountain flood disaster, however, the detailed investigation were not enough in some of the disaster areas, where the investigation work should be strengthened in the future.

Keywords: mountain torrent disaster investigation; detailed mountain torrent disaster survey points; mountain torrent disaster points; influencing factors; Chongqing

(责任编辑 黄颖)