

清远市瑶安小流域山洪灾害成因分析

黄国如¹, 成国栋², 冼卓雁^{1a}, 陈真莲^{1a}, 周小明²

(1. 华南理工大学 a. 土木与交通学院; b. 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 连州市水务局, 广东 连州 513400)

摘要:以清远市瑶安小流域为例,从降雨条件、地形地貌条件、固体物质环境条件等方面分析该流域山洪灾害的成因。利用 M-K 法分析得知该流域各历时降雨均呈较为明显的上升趋势,未来该流域发生暴雨山洪灾害的可能性较大,降雨为山洪灾害形成提供了直接的外动力因素。基于 GIS 技术分析可知该流域陡坡主要集中于流域上游河道两岸,不利的坡度势能条件为山洪灾害形成提供了有利的地形地貌条件,该流域岩体风化和人类不合理活动为山洪灾害形成提供了重要的环境条件。

关键词:山洪灾害;降雨条件;坡度势能;固体物质环境;瑶安小流域

中图分类号:X43 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-643X(2015)03-0136-06

Analysis of causes of mountain flood disaster at Yaoan small watershed of Qingyuan

HUANG Guoru¹, CHENG Guodong², XIAN Zhuoyan^{1a}, CHEN Zhenlian^{1a}, ZHOU Xiaoming²

(1. a. School of Civil Engineering and Transportation; b. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Water Affairs Bureau of Lianzhou, Lianzhou 513400, China)

Abstract: Taking Yaoan small watershed in Qingyuan for example, the paper analyzed the causes of mountain flood disaster from the basin rainfall condition, terrain condition, environmental condition of solid material. The result shows that the rainfall in each duration increases obviously by using M-K method. In the future, the possibility of happening heavy rain and mountain flood disaster is greater, and rainfall provide direct power factor for the formation of mountain flood disaster. Using GIS technology, the paper got the result that the valley slope is mainly concentrated in two sides of basin upstream river. The disadvantage gradient potential provide favorable conditions for the formation of mountain flood disaster. The basin rock weathering and unreasonable human activities provide the important environmental conditions for the formation of mountain flood disaster.

Key words: mountainous flood disaster; rainfall condition; gradient potential; environment of solid material; Yaoan small watershed

山洪灾害是指山洪暴发而给人民群众带来的灾害,包括山溪洪水泛滥、泥石流、山体滑坡、崩塌等造成的人员伤亡、财产损失、基础设施损坏、环境破坏等^[1-3]。山丘区小流域由于流域面积和河道调蓄能力较小,坡降较陡,山区洪水历时短、涨幅大,洪峰高、水量集中,导致山洪灾害具有突发性、毁灭性、群发性、易发性、危害性等特征,山洪灾害不仅对山丘区的基础设施造成毁灭性破坏,而且对人民群众的生命安全构成极大的损害和威胁,已成为山丘区经济社会可持续发展的重要制约因素之一。全国

1836 个县级行政区具有山洪灾害防治任务,2006 年国务院批复全国山洪灾害防治规划,启动山洪灾害防治试点建设,2009 年将试点范围扩展到全国 103 个县级行政区^[3]。山洪灾害成因是山洪灾害防治的重要依据,近年来不少学者通过对山洪灾害发生区的降雨、地质地貌、测报手段、防洪标准、水患意识、人为活动和水系等方面进行分析,总结出山洪灾害主要由以下几方面因素所致^[4-11]:①气象水文因素。降雨是诱发山洪灾害的直接因素和激发条件。②地质地貌因素。不利的地形地质条件是山洪灾害

发生的重要因素。③人类活动因素。人类过度开发土地,乱砍伐森林,使山地失去水源涵养作用,也易引发山洪灾害。④防洪标准因素。我国大部分山地丘陵地区水利工程拦蓄洪水能力较低,山区河道行洪能力较差,防洪标准低,难以抵挡大而来势迅猛的山洪。由于各地实际情况差异性较大,山洪灾害成因也较为复杂,本文结合瑶安小流域实际情形,对其近年发生的山洪灾害成因进行分析,为该流域山洪灾害防治提供重要参考。

1 研究区域概况

瑶安小流域位于广东省清远市连州北部山区,地处北回归线北侧,属亚热带季风气候,雨量充沛。多年平均降雨量 1 600 mm,最大日降雨量 214 mm,降雨量年内分配不均,主要集中在 4~7 月。该流域北部与湖南省交界位置为低中山地貌,山体较为高大,高程多在 1 000 m 以上。高程自北向南逐步降低,中部高程为 500~1 000 m,山坡较陡,坡度在 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$,残坡积层厚度较大。南部为丘陵地貌,山体较为矮小,高程为 50~500 m,地形较为平缓,坡度在 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$,河流两岸阶地发育,阶地宽度在 100~200 m。该流域大部分山体基岩裸露,坡积覆盖层较薄,风化残坡积厚 0.5~5 m,植被发育较差,水土流失较为严重,绝大部分陡坡未进行有效的防灾治理,该流域地质灾害主要以崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等为主。瑶安小流域流域面积 274.82 km²,比降 16.6‰,干流全长 36.85 km,区内水系发育,3 条主要支流自西向东分别为长合水、小滚水、带田水,呈扇形分布,自北向南汇流于瑶安乡墟镇,瑶安小流域水系如图 1 所示。

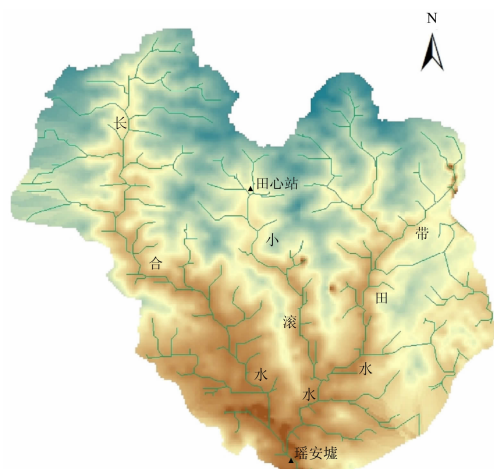


图1 瑶安小流域水系图

瑶安小流域暴雨范围小但强度大,极易发生局部性暴雨山洪灾害,且该流域为典型山区河流,坡降

较陡,洪水具有汇流时间短、流速快、冲击力大、破坏性强等特性,极易造成水土流失,大量泥沙、卵石被冲入河道,淤积河道,抬高河床,严重威胁到两岸的村庄和农田,冲毁水利设施和道路工程。20 世纪 60 年代以来,该流域发生了几次较大的暴雨洪水灾害,其中以 2006 年“6·18”和 2007 年“6·07”山洪最为严重。2006 年 6 月 18 日,连州市暴发突发性、局部性特大山洪,造成连州市 4 个乡镇 1.97 万人受灾,沿河村庄部分房屋倒塌,农田被冲、电站被毁,水利、供电、通讯和公路交通等设施损坏严重,洪灾造成损失 1.7 亿元;2007 年 6 月 6~9 日,连州市普降大暴雨,该次降雨持续时间长、强度大、范围广,降雨相对集中,造成连州市 8 个乡镇 4.24 万人受灾,洪灾对交通、水利、电力、通信、农田和房屋造成重创,造成直接经济损失 0.8 亿元。

2 山洪灾害成因分析

由灾害系统理论可知,山洪灾害形成必须具备以下几个条件:①存在诱发山洪的因素(致灾因子);②形成山洪灾害的环境(孕灾环境);③山洪影响区有人类居住或分布有社会财产(承灾体)。致灾因子、孕灾环境、承灾体三者相互作用、相互联系,形成了一个具有一定结构、功能、特征的复杂体系,也就是通常所说的山洪灾害^[12]。由此可以认为,瑶安小流域山洪灾害的形成规模及行为特征是在该流域特定的孕灾环境条件下,由致灾因子诱发而形成和发展的,且因为承灾体不同,灾害带来的危害程度也不同。众多研究表明,山洪灾害形成跟水文气象、地形地貌、土壤植被、河流水系、人类活动等密切相关,其中降雨是诱发山洪灾害的直接外动力因素,而不良的地形地质则给山洪灾害形成提供重要的环境条件,另外,人类过度开发土地、破坏天然植被等不合理行为也为山洪灾害形成创造了重要条件。针对瑶安小流域实际情况,下面主要从降雨特征、地形地貌条件和固体物质条件等 3 方面分析该流域山洪灾害形成的基本条件。

2.1 降雨条件

瑶安小流域暴雨主要集中在两个阶段,一个阶段是 4~6 月份,该时期夏季风盛行,遇冷空气活动易产生降雨;另一个阶段是 8 月份,此时热带气旋渐盛,遇弱冷空气则大雨和暴雨机会又多起来。该流域地处粤北山区,属于季风气候,多年平均降雨量相对沿海地区偏小,但由于受到山区地形、地势以及小尺度天气环流影响,易产生局部超强度暴雨,即暴雨

范围小但强度大、历时短。降雨是诱发山洪灾害的一个很重要的外动力因素,突发性与持续性暴雨是触发山洪水沙流体形成、倾泻、侵蚀的基本动力,主要表现为瑶安小流域山洪地质灾害的高发期与强降雨发生时间相吻合,多发生在夏季 4-8 月份,该流域“2006. 6. 18”和“2007. 6. 07”两次特大山洪均是由局部超强降雨造成。

瑶安小流域只有田心雨量站,位于小滚水上游,有 1958-2011 年逐日和短历时雨量资料,利用 Mann-Kendall 趋势检验法对该流域降雨资料进行分析,揭示降雨序列演变趋势;并通过分析灾害发生当日降雨量与前期降雨的关系,探讨小流域山洪灾害的形成与降雨条件之间的关系和规律。

2.1.1 降雨长期演变趋势 M-K 趋势检验法优点在于不需要样本遵从一定分布,也不受少数异常值干扰,被广泛应用于水文气象等非正态分布数据的趋势检验研究^[13]。在给定的 α 置信水平上,如果 $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$,则原假设 H_0 是不可接受的,即认为在 α 置信水平上,时间序列数据存在明显的上升或下降趋势。当统计变量 $Z > 0$ 时,反映的是上升趋势; $Z < 0$ 时,则是下降趋势。如果 $|Z| \geq 1.28$ 、1.64 和 1.96,分别表示序列通过了置信度为 0.80、0.90 和 0.95 的显著性趋

势检验。

(1) 年际降雨量变化趋势特征。计算得到田心站年降雨量 M-K 检验值 Z 为 1.11,表明该流域年降雨量随时间呈不显著增加趋势,线性回归分析发现年降雨量增加率为 42.1 mm/10a(图 2)。

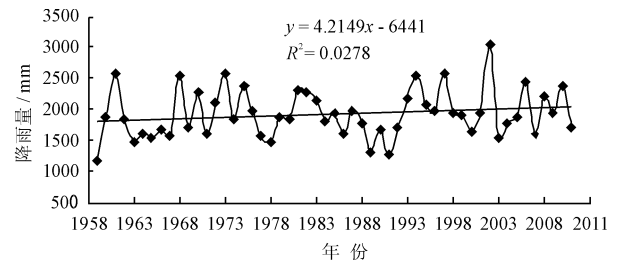


图 2 田心站 1958-2011 年降雨量变化趋势

(2) 月际降雨量变化趋势特征。田心站月平均降雨量的 M-K 检验值见表 1,从中看出,呈上升趋势的有 1-3 月份、5-7 月份,1、6 月上升趋势较为明显,分别通过了 90% 和 95% 的显著性检验,7 月上升趋势不是很显著;其余月份则呈现下降趋势。选择汛期的 6、7 月为典型月份进行线性回归分析,发现 6、7 月的月均降雨量增加率分别为 28.6、21.2 mm/10a(图 3)。

表 1 田心站 1958-2011 年各月平均降雨量 Mann-Kendall 检验值

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Z 值	2.27***	0.36	0.87	-1.05	0.10	1.71**	1.36*	-1.11	-0.25	-1.19	-0.61	-0.63

注: *、**、*** 分别表示通过了置信度为 0.80、0.90 和 0.95 的显著性检验。

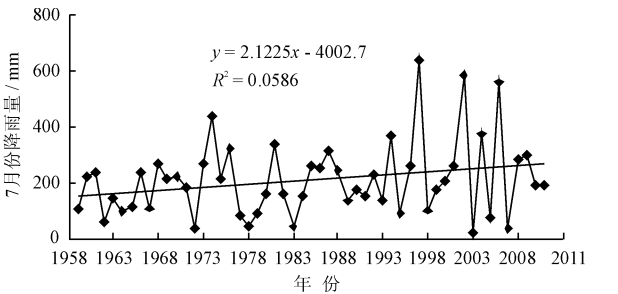
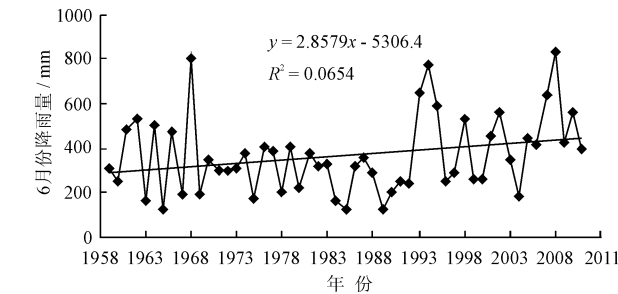


图 3 田心站 1958-2011 年 6、7 月份降雨量变化趋势

(3) 各历时暴雨变化趋势。统计田心站逐年短历时最大降雨量,由于该站 1、3 h 降雨量仅有 2002-2011 年资料,资料序列较短,难以满足长期演变趋势分析所需,故仅统计该站 1958-2011 年降雨历时分别为 6、12 h 最大降雨量,采用 M-K 趋势检验法分析这些降雨序列的长期变化趋势。计算得到这两种降雨量序列的 M-K 检验值 Z 分别为 2.18、2.28,表明这些降雨量序列均通过了置信度为 95%

的显著性检验,说明田心站最大降雨量呈现非常显著的上升趋势。图 4 为这两种降雨量序列的多年过程图,从线性回归分析发现 6、12 h 最大降雨量增加率分别为 5.5、6.4 mm/10a。

由趋势分析结果可看出,该流域各历时最大降雨随时间均呈上升趋势,且上升趋势较为显著。该流域近年两次特大山洪灾害分别发生在 6、7 月份,而降雨特别是短历时暴雨更是造成瑶安小流域山洪

灾害发生的直接动力因素,由分析结果可知,未来该流域山洪灾害发生的可能性还呈增大趋势,防洪形势依然严峻。

2.1.2 山洪灾害形成的降雨条件 20 世纪 60 年代以来,瑶安小流域发生了几场较大山洪灾害,根据历史灾害调查资料及统计不难发现,降雨是该流域山洪

灾害过程中最活跃的因素,灾害发生当日普遍下暴雨和大暴雨,灾害发生前期均有明显的降雨过程。为了探讨山洪灾害形成的降雨条件,且考虑到距离山洪灾害发生时间越久的降雨对其形成的作用一般越小,本文统计了该流域 20 世纪 60 年代以来 10 场山洪灾害发生当日的雨量和前 7d 雨量(表 2)。

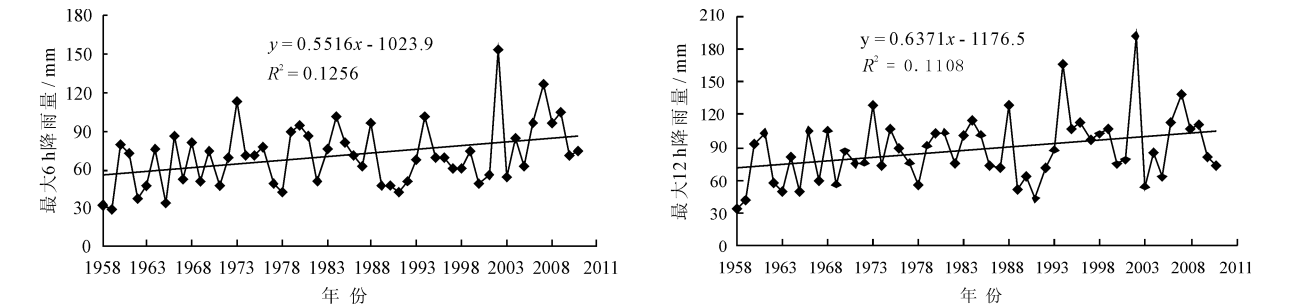


图 4 田心站 1958 - 2011 年各历时最大降雨量变化趋势

表 2 瑶安小流域山洪灾害发生当日降雨量和前期降雨量

	mm							
日期	前 7d	前 6d	前 5d	前 4d	前 3d	前 2d	前 1d	当日
1961-04-19	7.8	24.9	0	0	10.4	22.3	27.8	175.8
1973-08-13	0	0	2.0	5.0	6.0	11.0	38.0	170.0
1984-08-04	0	0	7.7	36.5	45.7	0	128.8	24.3
1988-07-20	0	0	0	0	0	0	7.7	128.3
1996-07-11	0	0	0	0	0	0	64.5	97.6
2002-08-06	0	25.5	0	1.5	30.0	0	1.5	135.0
2006-06-18	0	11.0	4.0	43.5	0	23.0	60.0	52.5
2006-07-15	6.0	10.5	21.0	0.5	4.5	18.5	23.0	184.5
2007-06-07	0.5	17.0	14.0	33.5	26.5	19.0	160.5	34.5
2008-06-10	0	0	11.0	0.5	8.5	55.5	83.5	94.5

以 2002、2006、2007 年发生的山洪灾害为例进行分析:

2002 年 8 月 6 日期前有间断性的降雨过程,前 7 d 累积降雨量为 58.5 mm,土壤有一定的含水量,8 月 6 日当天出现大暴雨,降雨量高达 135 mm,致使该区上游泥石流暴发,同时山溪河流水位猛涨,引发了大面积的洪涝灾害。2006 年 6 月 18 日期前经历了较长时间的降雨,已造成土壤含水量超饱和,6 月 17 夜间至 18 日凌晨,由于高空槽和底层入切的共同影响,发生集中性、高强度的暴雨过程,使得 18 日上午上游地区山洪暴发,并伴随滑坡和泥石流。2007 年 6 月 7 日期前有间断性的降雨过程,6 月 6 日,受西风波动,切变线和静止锋影响,日降雨量高达 160.5 mm,虽然 6 月 7 日当日降雨量只有 34.5 mm,但由于前 7 d 累积降雨量达 271.0 mm,致使水位迅速上涨,土壤饱和,亦造成山溪洪水、滑坡等灾害。

综合上述典型山洪灾害事件来看,降雨与瑶安小流域内山洪灾害形成具有密不可分的关系,区域内山洪灾害往往是前期降雨和当日降雨共同作用的结果,前期降雨较小但有一定累积时,当日降雨量突然增大往往容易造成山洪灾害;前期降雨较大时,土壤含水接近饱和或达到饱和,大量残坡积物得到充分浸泡而降低了稳定性,当日一场不大的降雨也可能引发泥石流、滑坡等山洪灾害。

2.2 地形地貌条件

(1)地形。不利的地形地质条件是山洪灾害发生的重要因素,主要反映在地面高程和地形变化两方面,山洪灾害易发地区的地形往往是山高、坡陡、谷深,切割深度大,侵蚀沟谷发育。地面高程作为一个地形因子对山洪灾害形成十分重要,主要表现为地面高程相对越低,则发生山洪的危害性越大。在降雨作用下,雨水往低处流,地势越低的地方相对高差越大,

势能越大,则形成的山洪冲击力越大,危害性也就越严重。以瑶安小流域 1: 10000 地形图为基础资料,利用 ArcGIS 的 TIN 模块生成不规则三角网,再经高程值内插,生成栅格单元大小为 90 m×90 m 的研究区域数字高程模型(图 5)。由图可知,瑶安小流域高程介于 50~1 500 m 之间,属中山、中低山和丘陵地貌,地势北高南低。根据历史灾害资料可知,瑶安乡镇、高其村等村落位于流域下游,地势相对较低容易积水,是遭受山洪侵袭较严重的区域。

(2)坡度。地面坡度反映了地形变化程度,坡度大小决定了山洪汇流时间长短,坡度越大,汇流时间越短,形成洪峰所需时间越短,引发山洪灾害越大。基于 GIS 技术对瑶安小流域地面高程、坡度等进行空间分析,以探讨山地高差、山体坡度等对洪水、滑坡、泥石流等形成的影响。由坡度分析功能得到该流域地面坡度分布图(图 6),通过栅格重分类功能将流域内地面坡度分级为 0°~15°、15°~25°、>25°三类(图 7)。从整体上看,瑶安小流域地势北高南低,中上游地区地面坡度较大,地形以山地、丘陵为主,坡地大于 25°的陡坡主要集中于流域上游河道两岸,河谷切割较深,而流域下游地形相对平缓。坡度分级面积统计结果显示,地面坡度 0°~15°、15°~25°、>25°的面积分别为 145.38、92.89、36.55 km²,分别占区域总面积的 52.9%、33.8%、13.3%。瑶安小流域绝大部分陡坡未进行有效的防灾治理,特定的整体性和地势组合特征为水沙流体的汇集、倾泻、分异以及诱发滑坡、崩塌、泥石流等提供了有利的势能环境,陡峭的地形使暴雨产生的地表径流快速顺坡而下,向沟谷和主河道汇集,迅速形成破坏力极强的山洪洪峰流量,进而诱发滑坡和泥石流等地质灾害。

(3)土壤类型。土壤类型和组成直接影响土壤渗透性和抗冲刷能力,渗透性和抗冲刷能力越好,降

雨造成的水土流失越小,产生的松散固体物质越小,山洪灾害危险性越小。瑶安小流域内的土壤类型有麻黄壤、页红壤、灰红壤、红壤性土、粘性紫色土(图 8),主要分为黄壤、红壤、粘性紫色土等 3 大类。黄壤是该流域分布最广的土壤类型,呈酸性,心土层富含针铁矿而呈黄色,土层经常保持湿润,质地较为粘重,多粘土、粘壤土。红壤具有深厚的红色土层,因富含铁、铝氧化物而呈酸性红色,质地也较为粘重,保水保肥力较差,红壤年平均气温比黄壤高,排水性较好。紫色土是发育于亚热带地区石灰性紫色砂页岩母质土壤,研究区域内的紫色土主要为粘性紫色土,含粘土粒较多,富含钙质、磷、钾等营养元素,呈中性或微碱性。黄壤最易发生冲刷,且该土壤类型分布最为广泛,因此容易在暴雨诱发下发生山洪灾害。

2.3 固体物质环境条件

地表松散固体物质储量是形成水沙流体的重要条件,在高强度持续性暴雨作用下,往往导致山间溪流洪水泛滥,坡面水沙流体倾泻,形成强大的水源动力,巨大的水沙流体在倾泻过程中对地表产生强烈的水力侵蚀,削弱岩土体的抗剪强度,降低结构面的抗滑强度,进而降低斜坡面的稳定性。在水力与重力复合作用下,陡坡上的松散土石块向下滑动或崩塌,形成了滑坡、崩塌、泥石流等山洪灾害。

瑶安小流域处于三水-瑶安-东陂-西岸中山、中低山、丘陵崩塌、地面塌陷中易发亚区,地质灾害以崩塌、滑坡、泥石流为主,是连州市地质灾害重点防治区之一。区内工程岩组以寒武系砂页岩、白垩系砂砾岩、燕山期花岗岩为主,岩石层风化较深,坡面碎石、砂粒、聚积量大。大部分山体基岩裸露,坡积覆盖层较薄,风化残坡积厚 0.5~5 m,植被发育较差,水土流失较为严重。该流域岩质疏松,沙多粒大,土壤粘结力差,容易被流水侵蚀,成土后容易被流水侵蚀搬运而形成山洪和泥石流。

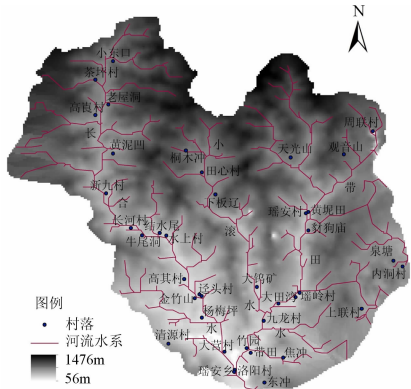


图5 瑶安小流域数字高程模型

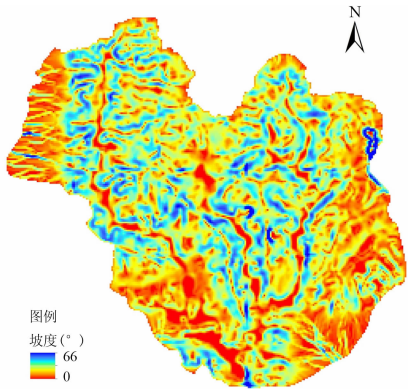


图6 瑶安小流域地面坡度图

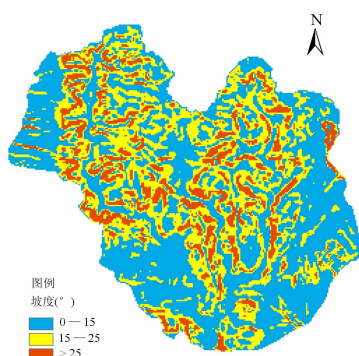


图7 瑶安小流域地面坡度分级示意图

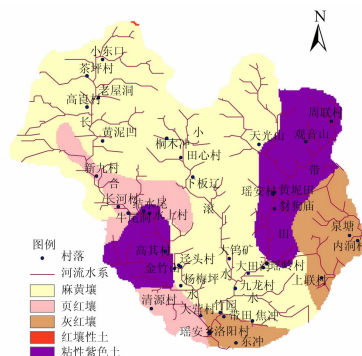


图8 瑶安小流域土壤分类图

经现场勘察,流域上游出露岩石主要为燕山期早期和晚期的花岗岩和花岗斑岩。河床中卵石母岩大部分为花岗岩,主要是上游山体岩石风化,在外力或受强降雨作用下出现崩塌和滑落,随水流进入河道。河床中卵石、块石大致可分为两类,一类是棱角-次棱角状块石,离原岩搬迁地不远,主要分布于河流上游及支流出口位置;另一类是磨圆度较好的卵石,离原岩搬迁地较远,经过多次沉积和迁移。该区河道中大部分沉积物为块卵石,磨圆度较好,主要为山洪冲刷两岸阶地,使得高阶地沉积卵石层进入河床而成。河道里尤其是支流存在大量砂石,一旦出现山洪,极易形成泥石流。

人类不合理生产方式破坏了地表结构,也累积了大量的松散固体物质。一方面,区内公路、水电站引水渠和前池等工程建设过程中没有做好相应的防护措施,破坏了山体稳定,导致水土流失严重;另一方面,由于当地村民主要经济来源是林木采伐,瑶安乡森林资源被过度地砍伐,且流域内林木布局不合理,经济林与生态林混杂,源头仍有不少经济林,经济林每隔3~5 a就要砍伐一次,破坏了森林涵养水源的功能,使山丘区坡面汇流加快,产流量加大,易于迅速形成山洪灾害。此外,长合水上游和下游大营村一带仍有大面积的火烧山现象,说明该区还存在在25°以上坡度的山地上开垦种植现象,毁林开荒不仅破坏了土地的天然保护屏障,也加剧了水土流失,大量泥沙、卵石被冲入河道,淤积河道,抬高河床,降低了调洪防洪能力。

3 结 语

论文主要从降雨、地形地貌和固体物质等3个方面入手,采用多种方法综合分析该流域山洪灾害成因机制。降雨是山洪灾害形成的直接外力因素,分析了该流域长序列降雨演变趋势以及发生暴

雨山洪灾害的当天雨量和前期雨量,表明该流域山洪灾害形成与突发性或持续性降雨有密切关系,降雨往往形成强大的水源动力,对该流域山洪灾害形成起到关键性作用。不利地形地质条件是山洪灾害发生的重要因素,利用GIS分析瑶安小流域地形坡度,表明该流域地势组合特征为滑坡、泥石流等山洪灾害提供了有利的势能环境。该流域岩体风化和不合理的人类活动形成了大量松散固体物质,为泥石流等山洪灾害的形成提供了重要条件。

参考文献:

- [1] 刘志雨. 中小河流山洪监测与预警预测技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [2] Hapuarachchi H A P, Wang Q J, Pagano T C. A review of advances in flash flood forecasting[J]. Hydrological Processes, 2011, 25(18): 2771-2784.
- [3] 程卫帅. 山洪灾害临界雨量研究综述[J]. 水科学进展, 2013, 24(6): 901-908.
- [4] 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.
- [5] 陈真莲, 黄国如, 成国栋. 小流域山洪灾害临界雨量计算方法分析[J]. 中国农村水利水电, 2014(6): 82-85.
- [6] 张志彤. 我国山洪灾害特点及其防治思路[J]. 中国水利, 2007(14): 14-15.
- [7] 富可荣, 余海燕, 李文君, 等. 海河流域山洪灾害成因特点分析[J]. 海河水利, 2012(6): 29-30.
- [8] 丁春梅, 何晓峰, 万成杨. 浙江省山洪灾害成因分析及防治对策[J]. 人民黄河, 2010, 32(4): 19-20.
- [9] 杨文春. 云南省玉溪市山洪灾害成因及对策浅析[J]. 人民珠江, 2008, 29(4): 47-48.
- [10] 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.
- [11] 王文川, 和吉, 邱林. 我国山洪灾害防治技术研究综述[J]. 中国水利, 2011(13): 35-37.
- [12] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1-9.
- [13] 黄国如, 冼卓雁. 深圳市1953-2012年极端气候事件变化分析[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(3): 8-13.