

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200031

福建三明后山“5.16”暴雨洪水分析及山洪灾害防治

杨凌崑¹, 叶龙珍², 余斌¹, 吴钟腾², 邓杰³, 赵宾杰^{1,4}, 柳清文¹, 陈文鸿¹

(1. 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;

2. 自然资源部丘陵山地地质灾害防治重点实验室, 福建 福州 350002;

3. 三明市自然资源局, 福建 三明 365000; 4. 桂林航天工业学院 能源与建筑环境学院, 广西 桂林 541004)

摘要:以福建省三明市“5.16”洪灾为研究对象,结合三明市后山溪沟实测水文资料和区域地质特征,利用暴雨洪水计算方法,分析该次洪水的爆发频率,对三明市后山冲沟不同频率下暴雨洪水的成灾可能性进行预测,提出了进一步加强山洪灾害的防治对策。结果表明,推理公式法应用于研究区的计算成果合理,能够反映三明市后山暴雨洪水特征,可为三明市山洪灾害防治及预警提供参考。

关键词:暴雨洪水分析;重现期;山洪灾害防治;三明市

中图分类号:P641.6

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2021)03-0095-06

0 引言

山洪灾害是指在特定的自然地理环境和特殊的地形地貌条件下遭遇持续性高强度降雨导致人民生命财产损失、基础设施毁坏以及环境资源破坏的自然灾害^[1]。研究表明,我国约 2/3 国土面积可能受到山洪灾害威胁^[2]。近年来,随着社会经济发展和人口增多、财富累积,山洪灾害已经严重影响社会经济的可持续发展,山洪灾害分析与防治已经成为当前社会可持续发展亟待解决的突出问题^[3]。

福建省地处东南沿海,既受非台风暴雨洪涝灾害的影响,又受台风暴雨洪涝灾害的影响,是集洪涝灾害以及次生的滑坡、泥石流等灾害频繁的省份之一^[4]。2019年5月15日午后到16日晨福建省三明市普降暴雨,最大小时降雨量56.6mm,最大日降雨量达259.6mm,打破1961年以来当地日降雨量记录178.2mm,系五十余年来最强降雨。受强降雨影响,三明市区后山发生大量山体滑坡,后山溪沟山洪暴发,造成沟涵堵塞、城市内涝,房屋坍塌,交通中断,严重影响当地居民工作、学习和生活。据相关资料记载,自新中国成立以来,三明市洪涝灾害频发,均30年左右就有一次大洪水^[5]。张犁

用水动力学与GIS相结合的方法^[6-8],探讨了三明市1994年5月沙溪河洪水过程及洪水风险,在三明市防洪预案的制定方面具有积极的意义。陈香等根据福建省暴雨洪涝灾害资料,分析了福建暴雨洪灾时的空分布格局及区域划分,为福建省制订区域防灾减灾规划提供了科学依据。

随着城市化过程的加速发展使城市的内涝问题趋于复杂化,为给三明市城市建设和山洪灾害分析提供数据支撑及理论依据,本文结合福建省三明市后山“5.16”山洪的实际情况,采用福建省中小流域洪水计算公式推算设计洪水的方法,以三明市后山紫莲桥流域为例,分析了该次洪水的爆发频率及影响范围,提出了三明市后山防灾减灾方面的工程治理措施。

1 三明市“5.16”山洪的空间分布及成因

1.1 研究区域概况

三明市位于福建中部偏西,大地构造位置处于闽西凹陷带北缘^[9],受其控制影响,境内地质体多呈北东向带延伸展布。三明市区后山位于闽中玳瑁山北麓,属中低山-丘陵地貌,境内以低山及高丘陵为主^[10]。闽江中游干流沙溪穿三明市城区而过,山体整体与沙溪

收稿日期:2020-02-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41672341);国家重点研发计划资助项目(2018YFC1505402)

作者简介:杨凌崑(1986—),男,四川绵阳人,博士研究生,主要研究方向为地质灾害防治与预警。E-mail:286752472@qq.com

通信作者:余斌(1966—),男,四川成都人,教授,博士,主要研究方向为泥石流灾害与防治。E-mail:yubin08@cdut.cn

走向平行,沿北东-南西向展布,绵延连续,总体地势呈东南高,西北低,区域山坡受多条冲沟切割,地表水系呈格子状分布,以文笔山山脊为界,沿冲沟向低洼区域排泄,主要流向为北西向和北向,最终汇入沙溪河。“5.16”山洪涉及三明市后溪沟约 20 处,总流域面积约 12km²,其具体的空间分布见图 1。

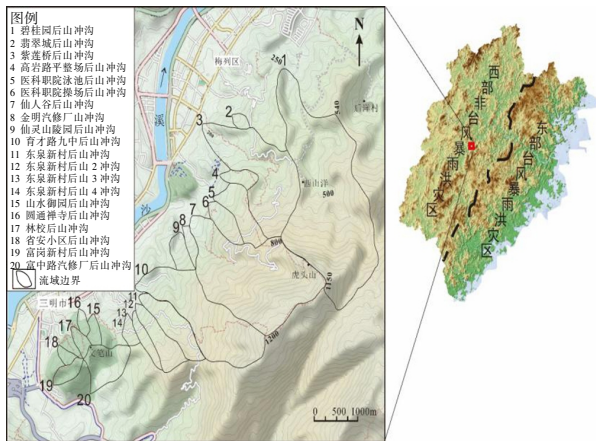


图 1 调查区冲沟空间分布(福建东部台风暴雨与西部非台风暴雨区的划分据文献^[3])

Fig.1 Spatial distribution of gullies in the survey area

1.2 三明市“5.16”山洪成因

三明市位于西部非台风暴雨洪涝灾害区,受中亚热带季风气候和亚热带山地气候影响,降雨量充沛,季风明显,山地气候显著^[11]。三明市洪涝灾害主要由西部非台风暴雨造成,具有降雨历时长,频率高,强度大;时间集中,群发性强;连锁反应显著等特点^[12]。多年平均降雨量约 1700mm,降雨主要集中在 3~8 月,其中 5~6 月为洪水高发期。2019 年 5 月 16 日的列西站日降雨量 256.3mm,市区渔溪村 3h 降雨量达 126mm,日降雨量 259.6mm,为 1961 年以来三明市最大日降雨量。暴雨是三明市“5.16”山洪的直接原因,降雨重现期往往也是山洪的重现期,据当地气象资料显示,梅列区陈大镇碧溪暴发有实测记录以来最大洪水,洪水频率超过 50 年一遇。

三明市后山冲沟为处在山岭带的山溪性小河流,海拔高程相差大,汇水面积小,溪流众多,坡陡流急,汇流时间短,受地形和气候的影响,年内季节性变化较显著^[13]。非台风暴雨洪涝灾害年内主要集中在春末夏初^[14],暴雨过后,地表水流汇集并急速下泄,引起山洪暴发;研究区内所有冲沟径流均通过市政涵洞排导,最终汇入沙溪河,洪峰进入城区后,坡降突变缓,行洪减慢,当山

洪流量超过涵洞过流流量或杂物堵塞时,易造成涵洞堵塞漫溢,排泄不畅,形成洪涝灾害。加之近年来,由于人类活动频繁,后山坡脚开挖,遇强降雨易引发滑坡等次生灾害,四处散落的树木从滑体后缘滑至坡脚,堵塞冲沟;行洪通道被占用成为耕地、养殖地;以上各因素,不同程度上加重了本次三明市的洪涝灾害。

2 三明市 5.16 山洪的调查与分析

通过对三明市后山冲沟的现场调查,在获取实时洪水及地形地貌有关数据下,计算三明市后山冲沟本次洪水的洪峰流量,对冲沟不同频率下洪水洪峰流量和排水涵洞的过流流量进行水文计算,及灾害发生的可能性大小进行预测分析和评估,从而为科学制定防洪预案提供理论依据。

2.1 计算方法

2.1.1 洪水洪峰流量

暴雨过后,地表水流汇集并急速下泄,引起山洪暴发。在山洪灾害调查中,方便快捷确定山洪洪峰流量的计算方法尤为重要,其中洪水流速是决定洪水流量的重要参数之一,目前对过流断面洪水流速常用经验和半经验公式计算^[15]。根据调查得到的洪水水位、过流断面面积及求得的洪水流速,计算出洪水洪峰流量,计算公式如下:

$$V_c = \frac{1}{n_c} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$Q_c = W V_c \quad (2)$$

式中: V_c 为洪水断面平均流速(m/s); n_c 为冲沟沟床及各类渠道粗糙率(参照《水力学》中的“渠道及天然河流的粗糙系数 n_c 值”选择粗糙系数值); R 为水力半径(m); I 为洪水水力坡度或沟床纵坡; Q_c 为洪水断面峰值流量(m³/s); W 为洪水过流断面面积(m²)。

2.1.2 不同设计频率下冲沟洪水洪峰流量

山区小流域洪水调查分析是山洪灾害调查的一项重要工作,主要内容是根据历史山洪灾害记录,对具有区域代表性的典型场次洪水,考证其洪水痕迹,对洪痕所在河道断面进行测量,并收集调查相应的降雨资料,估算洪峰流量和洪水重现期^[16-18]。推理公式因其概念明晰、计算便捷且具有一定精度,是当前中小流域洪水计算最常用的一种方法^[19]。本文采用《福建省推理公式计算设计洪水手册》计算方法,计算三明市后山不同频率下冲沟的设计洪水洪峰流量,其基本表达式为:

$$Q_m = 0.278\Phi \frac{S_p}{\tau^n} F \quad (3)$$

$$\Phi = 1 - \frac{f_c}{S_p} \tau^n \quad (4)$$

式中: Q_m 为设计洪峰流量(m^3/s); Φ 为径流系数; S_p 为雨力; F 为流域集水面积(km^2); τ 为汇流时间; n 为暴雨递减系数; f_c 为稳定入渗率。

2.2 实例分析

2.2.1 紫莲桥后山冲沟“5.16”洪水洪峰流量计算

紫莲桥后山冲沟(以下简称 3# 沟)位于三明市农业局后山($26^{\circ}15'53.47''N, 117^{\circ}38'11.92''E$), 由于该区域内人口密度较大、潜在山洪威胁较广, 本文以该沟为例进行水文计算及其成灾可能性预测分析。

本次调查测量选取流域内顺直段、水流稳定、便于观测位置的两处洪痕断面, 以保证实测数据有尽可能高的准确度, 断面位置见图 2, 断面剖面形态如图 3 所示。将测量结果带入式(1)和式(2), 根据计算结果, 3#

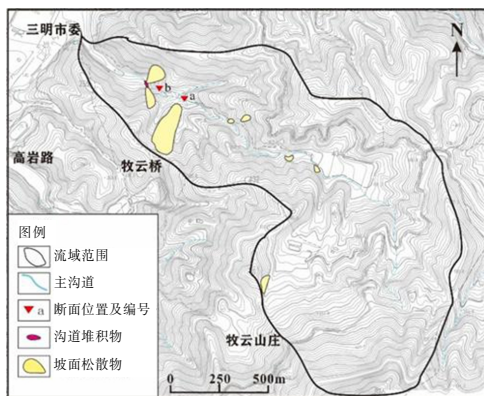


图2 3# 沟流域地形地貌

Fig.2 Topography and geomorphology of No.3 gully

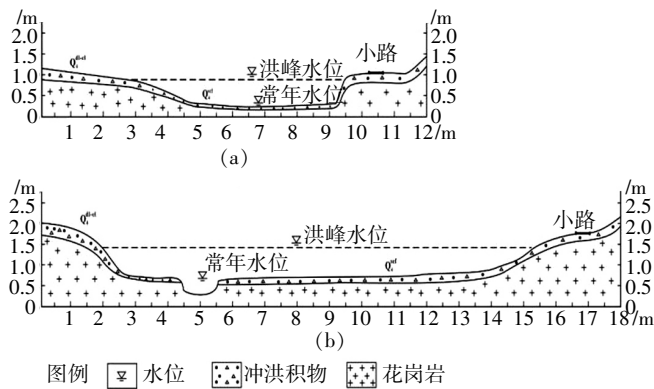


图3 3# 沟洪痕断面

Fig.3 Flood mark section of No.3 gully

表1 3#沟“5.16”洪水洪峰流量计算结果

Table1 Calculation results of flood peak discharge of No.3 gully in "5.16"

断面编号	洪水位 /m	坡降	水力半径/m	曼宁系数	断面面积/ m^2	流速 / $m \cdot s^{-1}$	流量 / $m^3 \cdot s^{-1}$
a	0.6	0.07	0.46	0.04	3.3	3.94	12.3
b	0.4	0.06	0.50	0.04	5.4	3.06	16.5

沟本次最大洪水洪峰流量为 $16.5m^3/s$, 参数统计及计算结果列于表 1。

2.2.2 3# 沟下游涵洞排水能力分析

流域内集水最终汇合于冲沟下游排水涵洞, 排水涵洞过流能力不畅引发城区积水。涵洞的过流能力是城市管网是否畅通的关键, 若水流能顺利通过涵洞, 则城市管网畅通, 不会造成灾害; 反之, 城市管网堵塞, 则内涝生, 形成灾害。3# 沟下游排水涵洞为紫莲桥后山流域排水的主要通道(见图 4), 本次调查测量了 3 处涵洞断面, 由此来计算涵洞排水能力(只要水深超过涵洞高度, 就会对附近设施产生影响, 因此仍采用式(1)和式(2)计算涵洞排水能力), 其参数统计及涵洞排水能力计算结果见表 2。



图4 紫莲桥后山冲沟下游居民区沟排水涵洞

Fig.4 The drainage culvert in downstream residential areas of the gullies in Zilianqiao back mountain

表2 涵洞排水能力计算

Table2 Calculation of culvert drainage capacity

涵洞编号	坡降	水力半径/m	曼宁系数	断面面积/ m^2	流速 / $m \cdot s^{-1}$	洪水过流流量 / $m^3 \cdot s^{-1}$
1	0.052	0.55	0.025	4.94	6.13	30.3
2	0.052	0.51	0.025	3.87	5.85	22.6
3	0.052	0.46	0.025	3.23	5.45	17.1

根据 3# 沟流域洪水洪峰及涵洞排水能力计算结果, 涵洞 1、涵洞 2 的排水能力分别为 $30.3m^3/s$ 、 $22.6m^3/s$, 涵洞 3 排水能力最小, 为 $17.1m^3/s$, 本次洪水 3# 沟洪峰流量为 $16.5m^3/s$, 略小于涵洞的最小过流能力, 洪水发生时可能会诱发滑坡等次生灾害链效应, 携散落的

树木进入沟道,增加涵洞堵塞的可能性,有造成涵洞堵塞的风险。本次洪水 3# 沟涵洞上游由于滑坡产生的坡积物及树木堆积于沟道,迫使洪水改道,部分水流沿公路溢流,对下游居民的生产生活造成了一定影响,分析结果与实际调查结果一致。

2.2.3 3# 沟不同频率下设计洪水洪峰流量计算

已知 3# 沟流域面积 2.18km^2 ,主沟长 2.8km ,沟床平均纵坡降约 206‰ ,计算方法步骤依据《福建省推理公式计算设计洪水手册》,得到 3# 沟不同频率下的设计洪水洪峰流量,根据此次实际调查结果,“5.16”山洪 3# 沟流域最大实测洪水洪峰流量为 $16.5\text{m}^3/\text{s}$,与 50 年 ($P=2\%$)一遇设计洪峰流量计算值 $15.7\text{m}^3/\text{s}$ 接近,说明设计洪峰流量计算可靠,可以用于不同频率的洪水洪峰流量计算。计算成果见表 3。

表3 3#沟不同频率下设计洪峰流量

Table3 Design flood peak flow under different frequencies at No.3 gully

沟名	设计洪水洪峰流量/ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$			
	$P=5\%$	$P=2\%$	$P=1\%$	$P=0.5\%$
紫莲桥后山冲沟	12.9	15.7	17.9	20.1

3 三明市后山冲沟涵洞过流能力及成灾可能性分析

涵洞是链接沟谷汇水与市区市政排水管道网络的中间纽带,涵洞的过流能力对评价城市排水系统是否通畅起着至关重要的作用,当水流能顺利通过涵洞,即涵洞过流流量比洪水洪峰流量大,则城市排水畅通,不会形成灾害;反之当涵洞过流流量比洪水洪峰流量小,则会发生涵洞堵塞,形成灾害的可能性大;若涵洞过流流量与洪水洪峰流量基本一致(相差不超过 10%),则有可能发生堵塞涵洞造成灾害,发生灾害的可能性为中等。

三明市地理格局为东南高,西北低,后山植被茂密,多以毛竹、灌木及高大乔木为主,森林覆盖率为 76.8% ^[20],大量树木枝干散落在后山林区,受崩塌、滑坡及风化层遇降雨容易冲刷等因素影响,当发生山洪时,洪水与浮木一起沿着河水顺流而下,这些漂木通过涵洞时可以局部甚至完全堵塞涵洞,导致涵洞过流能力迅速下降,后续流体过流不畅,形成灾害。目前国内外对山洪携带的漂木堵塞实验与计算研究表明^[21-22]漂木

堵塞涵洞分未堵塞、半堵塞、全堵塞三种模式:当漂木长度小于过流宽度,即小于涵洞宽度时,不会形成堵塞;当漂木长度大于过流宽度,就会造成一定程度的堵塞;当漂木长度等于或大于 2 倍过流宽度时,漂木就会造成严重堵塞。Badri Bhakta Shrestha 等^[23-24]人通过数值模拟及水槽实验研究发现当漂木堵塞严重时,涵洞过流流量可减小至原过流量的 $1/4\sim 1/3$ 。本次调查,发现研究区内此次的沟道堵塞并不严重,在将来的 50 年一遇降雨条件下,也可能为轻微堵塞,但不可置疑的是堵塞程度会随着洪水重现期的增加而增加。三明市后山层林叠嶂,多以乔木为主,树高都在 6m 以上,加之受山脉抬升和地质构造破碎的影响,在 100 年一遇强降雨条件下,绝大多数冲沟流域内将有大量滑坡发生,伴随滑坡的运动与堆积,洪水携带倾倒在坡面或沟道的树木进入沟道形成漂木涌向下游涵洞,这些漂木长度都在 6m 以上,而涵洞宽度却基本都在 3m 以内,这样的差值产生的最终结果就是涵洞的严重堵塞。

本文基于不同洪水重现期涵洞过流能力的分析,分别计算了三明市后山冲沟 50 年、100 年一遇洪水下游涵洞的过流流量(50 年一遇洪水,因流域内水流高度超过涵洞高度,都会对附近设施产生影响或漫流,故涵洞过流流量按正常排水渠道计算,将测量参数带入式(1)和式(2)计算涵洞在不受其它因素影响下的过流流量;100 年一遇洪水,考虑到这种情况下流域内必将产生滑坡、以及枯树残枝的存在等灾害链因素,涵洞过流流量将衰减至原来的 $1/4\sim 1/3$,故在 50 年一遇涵洞过流流量的基础上乘 $1/4$ 、 $1/3$ 得到一个流量范围),并根据三明市后山冲沟洪水的活动特征、发展趋势,假定洪水和暴雨同频率,对后山 20 条冲沟 50 年、100 年一遇降雨的设计洪峰流量分别进行预测,使之与涵洞的过流流量进行对比(见图 5),分析其造成灾害的可能性。

三明市后山流域内冲沟下游均通过涵洞排导洪水,前文已经论述当涵洞过流流量 $>$ 洪水洪峰流量时,形成灾害的可能性很小;反之当涵洞过流流量 $<$ 洪水洪峰流量时,发生洪涝灾害的可能性很大;而当涵洞过流流量与洪水洪峰流量基本一致,成灾可能性为中等。如图 5 所示,通过对冲沟 50 年、100 年一遇的设计洪峰流量与涵洞的过流流量进行对比,发现在 50 年一遇洪水时,发生灾害可能性中等和大的冲沟有 7 条(编号:3#、4#、8#、10#、11#、16#、19#);而当 100 年一

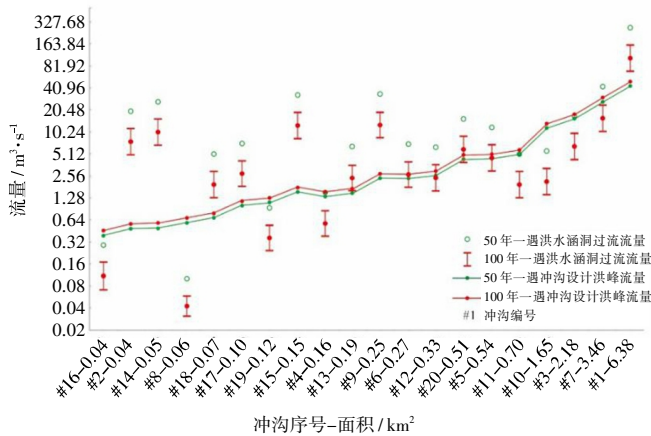


图5 三明市后山冲沟 50年、100年一遇洪水设计流量及下游涵洞过流流量

Fig.5 Design flood discharge and downstream culvert overflow for 50-year and 100-year return periods in back mountain gully of Shanming city

遇洪水到来时,发生灾害可能性中等和可能性大的冲沟有13条(编号:3#、4#、5#、6#、7#、8#、10#、11#、12#、13#、16#、19#、20#)。

4 结论和防治对策

三明市后山流域冲沟直接影响三明市市区,通过对三明市后山洪水特性规律和市政排水涵洞的推演计算,得到与本次洪水相匹配的设计洪水计算成果,设计洪水成果与实际调查成果接近,计算成果合理,即本次洪水对应频率为2%,对应的洪水重现期为50年一遇。在对流域内设计洪峰流量及涵洞过流能力的分析计算的基础上,评估了三明后山冲沟在50年、100年一遇的强降雨情况下发生灾害的可能性大小,为三明后山冲沟防治工程的优化设计和市政排水系统建设提供了科学依据,主要防治对策如下:

(1)建议结合山洪流量规模及可能影响范围大冲沟(如紫莲桥后山冲沟,编号:3#;育才路九中后山冲沟,编号:10#),优先考虑采取适当的拦挡、排导及岸坡防护工程,并且需在工程实施后确保采取定期或不定期清淤处理,以保证库容允许下次山洪所携块石、树枝的容纳堆积,实现防洪减灾效益最大化。

(2)结合部分冲沟涵管现状及周侧建构筑物情况,考虑是否具有局部扩大管涵条件(如山洪流量小的金明汽修厂后山冲沟,编号8#);清理临时搭盖等简易建构筑物(如富岗新村后山冲沟,编号19#),扩大整顺沟道,确保行洪安全。

(3)三明市后山地形以山地为主,山体坡度大、土

质松软,坡面陡峭,松散物源较多,在持续强降雨或特大暴雨作用下斜坡可能发生失稳,极易诱发滑坡等次生灾害,应进行生态安全条件下的土地利用结构调整,严禁陡坡开挖,保护和恢复山坡天然植被,防止水土流失。这些措施可延长产汇流时间,有效削减三明市后山冲沟的洪峰流量,预防地质灾害的发生。

参考文献:

[1] 胡滨. 长安区沔河上游沿河村落山洪灾害分析与评价[D]. 西安: 西安理工大学, 2016. (HU Bin. The Analysis and Evaluation of Mountain Torrent Disaster for Villages along the Feng River Upstream in Chang'an County [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2016. (in Chinese))

[2] 赵刚, 庞博, 徐宗学, 等. 中国山洪灾害危险性评价[J]. 水利学报, 2016,47(9):1133-1142+1152. (ZHAO Gang, PANG Bo, XU Zongxue, et al. Assessment on the hazard of flash flood disasters in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016,47(9):1133-1142+1152. (in Chinese))

[3] 陈香, 王静爱, 陈静. 福建暴雨洪水时空变化与区域划分的初步研究[J]. 自然灾害学报, 2007(6):5-11. (CHEN Xiang, WANG Jingai, CHEN Jing. Primary study on spatiotemporal change and regionalization of storm-flood in Fujian Province [J]. Journal of Natural Disasters, 2007(6):5-11. (in Chinese))

[4] 庄圣森, 庄希澄. 福建省洪灾的成因分析[J]. 水文, 2004,24(6):55-57. (ZHUANG Shengsen, ZHUANG Xicheng. Cause analysis of flood disaster in Fujian Province [J]. Journal of China Hydrology, 2004,24(6):55-57. (in Chinese))

[5] 朱孝寿. 三明市沙溪洪水特征及其成因分析[J]. 水文, 2001(S1):55-57. (ZHU Xiaowu. Analysis of flood characteristics and causes in Shaxi, Sanming City [J]. Journal of China Hydrology, 2001(S1):55-57. (in Chinese))

[6] 张犁. 城市洪水分析与模拟的GIS方法研究[J]. 地理学报, 1995, 62(S1). (ZHANG Li. Urban flooding analysis and modeling using GIS [J]. Acta Geographica Sinica, 1995,62(S1). (in Chinese))

[7] Albano R, Sole A, Adamowski J, et al. Using flood risk GIS free-ware for uncertainty analysis of direct economic flood damages in Italy [J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2018,73:220-229.

[8] Townsend P A, Walsh S J. Modeling floodplain inundation using an integrated GIS with radar and optical remote sensing [J]. Geomorphology, 1998,21(3):295-312.

[9] 韦德光, 揭育金, 黄廷淦. 福建省区域地质构造特征[J]. 地质通报, 1997(2):51-59. (WEI Deguang, JIE Yujin, Huang Tinggan. Regional geological structure of Fujian [J]. Geological Bulletin of China, 1997(2):51-59. (in Chinese))

[10] 赵举兴. 福建省三明市城市地质调查内容设置—兼论山区城市的城市地质工作重点[J]. 资源环境与工程, 2018(3):403-407. (ZHAO Juxing. Contents of urban geological investigation in Sanming, Fu-

- jian Province —also about the focuses of urban geological work in Hilly city [J]. Resources Environment & Engineering, 2018(3): 403–407. (in Chinese))
- [11] 连伟良, 卓燕芬. 福建省中小河流治理工作探讨[J]. 中国防汛抗旱, 2012(2):53–55. (LIAN Weiliang, ZHUO Yanfen. Discussion on the management of small and medium-sized rivers in Fujian Province [J]. China Flood & Drought Management, 2012(2):53–55. (in Chinese))
- [12] 陈香. 福建洪涝灾害特点及减灾对策研究[J]. 莆田高等专科学校学报, 1999(4):23–27. (CHEN Xiang. Characteristics of flood disaster in Fujian and Countermeasures for disaster reduction [J]. Journal of Putian College, 1999(4):23–27. (in Chinese))
- [13] 纪谷裕. 福建沿海小流域设计洪水的计算方法[J]. 水利科技, 2009(2):15–16. (JI Guyu. Calculation method for design flood of small watersheds in the coastal area of Fujian province [J]. Hydraulic Science and Technology, 2009(2):15–16. (in Chinese))
- [14] 沈勤鲁, 唐应秋. 浅析近年闽西北洪灾频繁发生的原因[J]. 亚热带水土保持, 2000(1):13–16. (SHEN Qinlu, TANG Yingqiu. Analysis of the causes of frequent floods in Northwest Fujian in recent years [J]. Fujian Soil and Water Conservation, 2000(1):13–16. (in Chinese))
- [15] 吕晓丽. 小流域暴雨洪峰流量的计算实例分析[J]. 郑铁科技, 2019(2):17–19. (LU Xiaoli. Analysis of calculation example of rainstorm peak discharge in small watershed [J]. Zhengzhou Railway Science & Technology, 2019(2):17–19. (in Chinese))
- [16] 江道宗, 刘恺华, 金英萍. 设计暴雨洪水在防治山洪灾害中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2018,47(6):18–19. (JIANG Daozong, LIU Kaihua, JIN Yingping. Application of design storm flood in mountain flood prevention and control [J]. Henan Water Resources & South-to-North Water Diversion, 2018,47(6):18–19. (in Chinese))
- [17] 郑嫦月, 魏振磊, 施勇斌. 山区小流域暴雨洪峰流量计算方法[A]. 2015浙江省公路学会学术年会[C]. 2015. (ZHENG Changyue, WEI Zhenlei, SHI Yongbin. Calculation method of rainstorm flood peak discharge in mountainous small watershed [A]. 2015 Annual Meeting of Zhejiang Highway Society [C]. 2015. (in Chinese))
- [18] 任建民. 由推理公式推求小流域暴雨洪峰流量方法的探讨[J]. 甘肃水利水电技术, 1998(4):12–13. (REN Jianmin. Discussion on the method of deducing rainstorm flood peak discharge in small watershed by reasoning formula [J]. Gansu Water Resources and Hydropower Technology, 1998(4):12–13. (in Chinese))
- [19] 赵睿. 山丘区小流域暴雨洪水分析计算方法应用研究[D]. 济南: 山东大学, 2015. (ZHAO Rui. The Application Study of the Analysis and Calculation Method of the Small Watershed Storm Flood in Hilly Region [D]. Jinan: Shandong University, 2015. (in Chinese))
- [20] 伍俊林. 福建省三明市 2000–2014 年林火时空格局及影响因子分析[D]. 福州: 福建农林大学, 2018. (WU Junlin. Study on Forest Fire Spatial Temporal Pattern and Influencing Factors in Fujian of Sanming City from 2000 to 2014 [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2018. (in Chinese))
- [21] Braudrick C A, Grant G E, Ishikawa Y, et al. Dynamics of wood transport in streams: a flume experiment [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1997,22(7):669–683.
- [22] 谢湘平, 韦方强, 谢涛, 等. 山洪中漂木在拦砂坝前堵塞堆积实验[J]. 山地学报, 2014(2):123–128. (XIE Xiangping, WEI Fangqiang, XIE Tao, et al. Experiment on the clogging and deposition of woody debris flowing with torrents in front of debris dams [J]. Mountain Research, 2014(2):123–128. (in Chinese))
- [23] Shrestha B B, Nakagawa H, Kawaike K, et al. Driftwood deposition from debris flows at slit-check dams and fans [J]. Natural Hazards, 2012,61(2):577–602.
- [24] Shrestha B B, Nakagawa H, Kawaike K, et al. Numerical simulation on debris-flow with driftwood and its capturing due to jamming of driftwood on a grid dam [J]. Annual Journal of Hydraulic Engineering, 2009,3(1):169–174.

Analysis of “5.16” Rainstorm and Flood and Flash Flood Disaster Prevention in the Back Mountain of Sanming City, Fujian Province

YANG Lingwei¹, YE Longzhen², YU Bin¹, WU Zhongteng², DENG Jie³, ZHAO Binjie^{1,4}, LIU Qingwen¹, CHEN Wenhong¹

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Key Laboratory of Geohazard Prevention of Hilly Mountains, Ministry of Natural Resources, Fuzhou 350002, China; 3. Sanming Natural Resources Bureau, Sanming 365000, China; 4. School of Energy and Building Environment, Guilin University of Aerospace Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Taking the “5.16” flood disaster in Sanming city, Fujian Province in 2019 as the research object, this paper applied the storm flood calculation method to analyze the frequency of the floods and forecast the possibility of rainstorm flood under different frequency in the back mountain of the city based on the measured hydrological data and regional geological characteristics. Besides, it provided countermeasures of the prevention and control of mountain torrent disasters. The results showed that the calculation by the reasoning formula method is reasonable, which could reflect the rainstorm and flood characteristics in the back mountain.

Key words: rainstorm flood analysis; recurrence period; mountain flood disaster prevention and control; Sanming City