海岛地区小流域暴雨洪涝灾害模拟研究

贺露露[1]，陈伟毅[1]，刘俊萍[1]，韩 伟[1]，宋 亮[2]，林常春[2]
(1.浙江工业大学 土木工程学院，浙江 杭州 310014；2.浙江省城乡规划设计研究院，浙江 杭州 310012)

摘 要：[目的] 对海岛地区小流域暴雨洪涝灾害进行模拟研究，为该类地区后续开发建设以及防洪排涝治理工作的顺利开展提供技术支撑。[方法] 选取浙江省舟山市朱家尖岛为研究对象，根据设计暴雨及设计和校核潮位资料，运用 MIKE 构建了一维河网模型、二维水动力模型以及 MIKE FLOOD 耦合计算模型，对比分析两种方案的淹没面积和水深、典型河道断面水位以及重点区域洪水演进过程。[结果] 相对于设计暴雨及设计潮位条件下的方案 1(94 降雨＋实测潮位)，设计暴雨及校核潮位条件下的方案 2(94 降雨＋极限潮位)在相对高水位时刻淹没面积更大，最大淹没深度更深。[结论] 朱家尖流域内河流比降大，汇流时间短，流域调蓄能力差，抵抗暴雨产生的洪涝灾害的能力较弱。特别是暴雨遭受天文大潮时，研究区域受灾程度更重。

关键词：海岛；一维河网模型；二维水动力模型；MIKEFLOOD 耦合计算模型；洪涝灾害
文献标识码：B **文章编号**：1000-288X(2020)02-0129-05 **中图分类号**：TV122

文献参数：贺露露，陈伟毅，刘俊萍，等.海岛地区小流域暴雨洪涝灾害模拟研究[J].水土保持通报，2020，40(2)：129-133. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2020.02.018；He Lulu，Chen Weiyi，Liu Junping，et al. Flood disaster simulation of small watershed in island areas [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2020，40(2)：129-133.

Flood Disaster Simulation of Small Watershed in Island Areas

He Lulu[1], Chen Weiyi[1], Liu Junping[1], Han Wei[1], Song Liang[2], Lin Changchun[2]
(1. *College of Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, Zhejiang* 310014, *China*;
2. *Zhejiang Urban & Rural Planning Design Institute, Hangzhou, Zhejiang* 310012, *China*)

Abstract: [Objective] The flood disaster in small watershed of island areas was simulated, in order to provide technical support for the subsequent development and construction of island areas and the smooth development of flood prevention and drainage management. [Methods] Taking Zhujiajian Island in Zhoushan City of Zhejiang Province as the research object, MIKE was used to establish a one-dimensional river network model, a two-dimensional hydrodynamic model and a coupling MIKE FLOOD model based on the data of design rainstorm, and the design and check tide level. The inundated area and the inundated water depth of the study area, the water level of the main river section, and the inundated duration of the key study area under these two schemes were compared and discussed. [Results] Compared with Scheme 1 (94 rainfall + measured tide level) under the condition of designed rainstorm and tide level, the inundated area of Scheme 2 (94 rainfall + extreme tide level) under the condition of design rainstorm and check tide level was larger and the maximum inundated water depth of the latter was deeper at the relatively high water level. [Conclusion] The flood control ability of Zhujiajian watershed caused by rainstorm is weak because of the large gradient ratio of rivers, the short confluence time, poor regulation and storage capacity. Especially when the rainstorm suffers astronomical spring tide, the disaster degree of the study area will be more serious.

Keywords: **island; one-dimensional river network model; two-dimensional hydrodynamic model; MIKE FLOOD coupling calculation model; flood disaster**

收稿日期：2019-11-05 **修回日期**：2019-12-10
资助项目：国家自然科学基金项目“海滩上的混合沙在波浪作用下的分选机理研究”(51709235)
第一作者：贺露露(1985—)，女(汉族)，浙江省宁波市人，博士，讲师，主要从事水动力方面的研究。Email：helulu@zjut.edu.cn。
通讯作者：刘俊萍(1969—)，女(汉族)，山西省太原市人，博士，副教授，主要从事水资源系统工程方面的研究。Email：ljp23@zjut.edu.cn。

随着全球气候的变化以及我国城市化的快速发展,我国城市在洪涝灾害方面发生的频率、强度以及由此造成的国民经济损失不断增加[1-2]。目前,我国有防洪任务的城市中,约有 4/5 都位于江河支流或其他中小河流上。在防洪建设方面,相对于大江大河流域较为完整的防洪规划建设,中小流域较为薄弱,较为常遇的洪水就可造成较为严重的洪涝灾害[3-4]。为了提高中小流域地区应对洪涝灾害的能力,减少其给社会和人民带来的危害,国内学者相继通过多种方法进行了研究,并取得了良好的社会及经济效益[5-8]。从现有研究来看,研究对象主要为内陆中小流域[9],对于独立的海岛小流域研究较少。与内陆中小流域相比,海岛流域相对孤立,其灾害类型较内陆地区在空间、时间以及承灾体等方面有较明显的差异。海岛地区流域面积小,河流大多是直流入海,入海口地区地势相对平坦,经济发达,人口稠密,一旦发生洪涝灾害,损失巨大。海岛小流域降雨易受季节及台风影响。暴雨期间,蒸发下渗等损失较小,由于河床纵比降大,源短流急,汇流时间短,流域调蓄能力差,洪水暴涨暴落,洪枯变化悬殊,加之受潮水影响,河道水位受外海潮位顶托较为明显,当暴雨恰逢天文大潮时,极易发生洪涝灾害。为探究降雨与潮位组合作用对海岛小流域洪涝灾害的影响,本研究选取舟山市朱家尖岛为研究对象,利用 MIKE 系列模型的 MIKE FLOOD 雨洪模型,根据设计暴雨及设计潮位和校核潮位资料,通过构建一维河网模型、二维水动力模型以及一、二维耦合计算模型,建立朱家尖流域洪水演进数值模型,模拟两种不同"降雨+潮位"方案下的朱家尖流域的淹没特性,以得到岛内积水分布位置以及重点区域的洪水淹没面积、淹没深度以及淹没历时,比较分析其防洪能力。研究结果可为朱家尖岛后续的开发建设以及防洪排涝治理提供相关的技术支撑。

1 研究区概况

舟山群岛地处浙江省东北部,杭州湾外缘的东海海面上,是我国最大的群岛。朱家尖岛位于舟山群岛南部的北纬 29°50′—29°27′,东经 122°19′—122°26′范围内。岛屿陆域面积 74 km^2,为舟山群岛第五大岛。朱家尖岛整体呈南北向狭长型,南北长约 13.48 km,北部东西最宽处约 9 km,最窄处,约 1.2 km。流域内属于典型的海岛流域,流域面积小,其中近 70% 是山区。流域内河流源短流急,历年受台风影响大,洪水暴涨暴落,洪峰持续时间短。

2 模型构建

2.1 一维模型构建

一维河网模型主要由河网文件、断面文件、边界文件以及参数文件组成。

(1) 河网文件。着重提取对洪水分析比较重要的河道来对研究区域内的河网进行概化。概化后河道共有 23 条,主要分为 3 大区片,分别为石牛江(石榴江)区片、四丈河区片和南河区片,三大片区分别下含河道 8 条、6 条以及 9 条,并分别通过位于石榴江北的新北塘闸、石榴江南的钓鱼礁闸、四丈河的反帝 2 号闸以及南河的反帝 1 号闸 4 个闸门出海。

(2) 断面文件。河网中共设置断面 120 个,断面间平均间距约 400 m,断面的设置充分考虑了研究目的以及沿程河道的变化情况。

(3) 边界文件。模型上边界为对应河道洪水流量过程,下边界为新北塘闸、钓鱼礁闸、反帝 2 号闸和反帝 1 号闸入海口的潮位过程。

朱家尖城区排涝标准为 30 年一遇,据临近的普陀气象站提供的计算结果,1994 年 10 月 10 日 15:00 至 10 月 11 日 14:00,降水总量 198.6 mm 与 30 年一遇的降水总量非常接近,因此,该场降雨总量及过程作为设计暴雨(文中简称 94 降雨)。

应用产汇流理论,结合《浙江省水文手册》及《浙江省短历时暴雨图集》,由实测降水推算各主要河流的洪水流量过程作为模型的上边界条件。因靠近山区,河道纵比降大,汇流时间短,四岙沙河仅在暴雨 5 h 后就迎来了洪峰,后塘中河、九礁河、中直河、顺母片河、石榴江北次之,在 8～10 h 后迎来了洪峰,南河、四丈河、白山河、石榴江南因地势相对平缓,河道纵比降小,汇流时间相对较长,洪峰在 23～24 h 后达到。

为模拟最不利条件下,即暴雨和外海高潮位同时发生时研究区域的洪涝灾害情况,模型的下边界条件设为两种,即设计潮型和校核潮型,上边界条件与这两种下边界条件组合,分别进行建模。选取 94 a 典型降雨过程对应的潮位过程(1994 年 10 月 10—11 日,1994 年第 30 号台风)作为设计潮型(文中简称实测潮位),选择 1989 年 8 月的典型潮位过程作为校核潮型(文中简称极限潮位)。两种潮位数据对比如图 1 所示。

(4) 参数文件。参数文件主要是对模拟的初始条件和河床进行设置,初始条件设置的目的是使模型能够平稳启动。本研究不考虑风、浪、温度及盐度的影响,河道初始水位设为 0 m,根据对所模拟河道的实际情况确定河床糙率 $n=0.03$;模拟时间与来水时间段相一致,模拟时长 43 h,时间步长为 1 s。

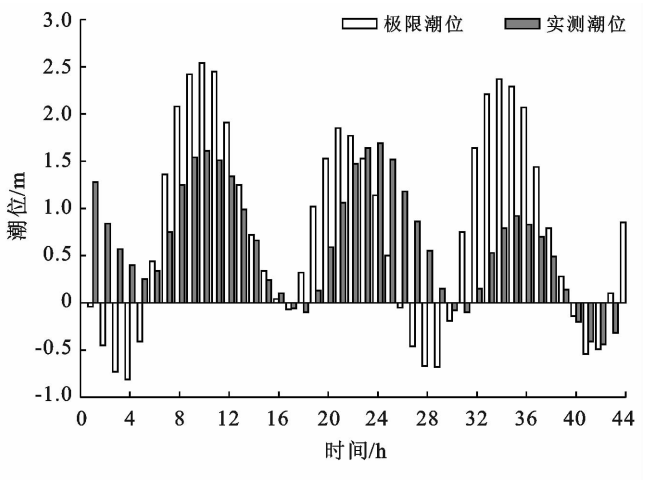


图 1　研究区实测及极限潮位对比

2.2　二维模型构建

2.2.1　网格剖分　研究区域二维地形采用 1∶500 的地形图和测量图利用 Mesh Generator 生成 16151 个三角形非结构网格。三角形网格的特点是对地形和边界的自适应性良好,靠近河流源头或交汇网格较密,网格边长约 10～30 m,其余部分网格较大,边长在 100～200 m 左右。

2.2.2　模型基本参数　MIKE 21 二维水动力模型参数分为基本参数和物理参数。基本参数主要包括边界条件、时间步长以及干湿水深;物理参数主要包括糙率、初始条件、涡粘系数等参数。参数具体设置详见表 1。

表 1　二维模型参数设置

参 数	参数含义	参数取值
Boundary	边界条件	干湿交替的陆地边界
Time Step	时间步长	1 s
No. Of time steps	时间步数	154 800
Flood and Dry	干湿水深	干枯水深 0.000 2 m,淹没水深 0.000 3 m,湿水深为 0.005 m
Bed Resistance	糙 率	模型陆域糙率按经验取为 18.18 $m^{1/3}/s$
Initial Data	初始条件	初始水位设置为低于常水位 5 m;初始流速为 0 m/s
Eddy Viscosity	涡粘系数	0.28

3　洪涝灾害模拟

3.1　模拟方案

根据调研,当遇到大暴雨时,河道管理部门为尽快降低河道中的水位,迎接洪水的到来,最大程度的减少洪水造成的洪涝灾害,模型下边界闸门采用统一的调度规则,即:排涝期,当闸上水位高于 0 m 时,若闸上水位高于闸下水位时开闸,否则关闸。考虑设计与校核两种下边界条件,并结合闸门调度规则,本次研究考虑两种方案,“94 降雨＋实测潮位”作为方案 1,“94 降雨＋极限潮位”作为方案 2,比较这两种方案下朱家尖流域的洪涝灾害情势。

3.2　结果分析

3.2.1　不同方案下河道水位随时间变化对比分析　石榴江南、石榴江北、四丈河以及南河作为流域内 4 条主干河流,是防洪排涝的主干河道,河道水位的高低影响着朱家尖城区的受灾情况。分别选取石榴江南、石榴江北、四丈河以及南河中下游的 SLN-10,SLB-6,SZ-6 以及 NH-10 这 4 个代表性断面,对比、分析两种方案中水位随时间的变化情况。代表性断面水位随时间变化如图 2 所示。由图 2 可以看出,两种方案中,河道水位总体变化趋势相同,均呈现出先上升,后又在波动中逐渐降低的过程,但从水位增速、水位峰值以及模拟结束时水位 3 个方面来看,方案 2 均明显高于方案 1,表明方案 2 的洪涝灾害情况比方案 1 严重。

这 4 条防洪排涝的主干河道在实测潮位条件下,根据闸门调度规则,闸门处于开启状态,河道水位受潮位顶托,其变化规律与潮位相一致,于 10 h 和 24 h 出现两次峰值;在极限潮位条件下,根据闸门调度规则,在接近第一次高潮位之前,相继出现了河道内水位低于潮位的情况,闸门关闭,河道内水排不出去,在约 20 h 后又遭遇洪峰,故河道内水位保持在一个较高位置,受灾较严重。

3.2.2　淹没水深在空间上的分布　根据一、二维研究结果,本研究选取了两种方案下相对高水位时刻(19941011—11∶00,第 20 h;19941011—3:00,第 12 h)来分析朱家尖岛在不同方案下淹没水深在空间上的分布趋势。两种方案下相对高水位时刻研究区域最大淹没水深如图 3 所示。

方案 1 中,淹没水深范围在 0.6～1.8 m,淹没面积约占研究区域总面积的 19.0%。其中,主要淹没深度在 1.1～1.8 m,面积约占总淹没面积的 61.2%;受淹最严重区域为四丈河中游以下与南河围成的中间区域,淹没深度在 1.5～1.8 m;相对于方案 1,在方案 2 中,研究区域受洪水淹没情况更为严重。淹没水

深范围在 1.2～2.4 m，淹没面积约占研究区域总面积的 23.6%，比方案 1 多 4.6%。其中，淹没深度在 1.5～2.4 m 的面积约占总淹没面积的 75.0%。两种方案下的研究区域淹没情况详见表 2。

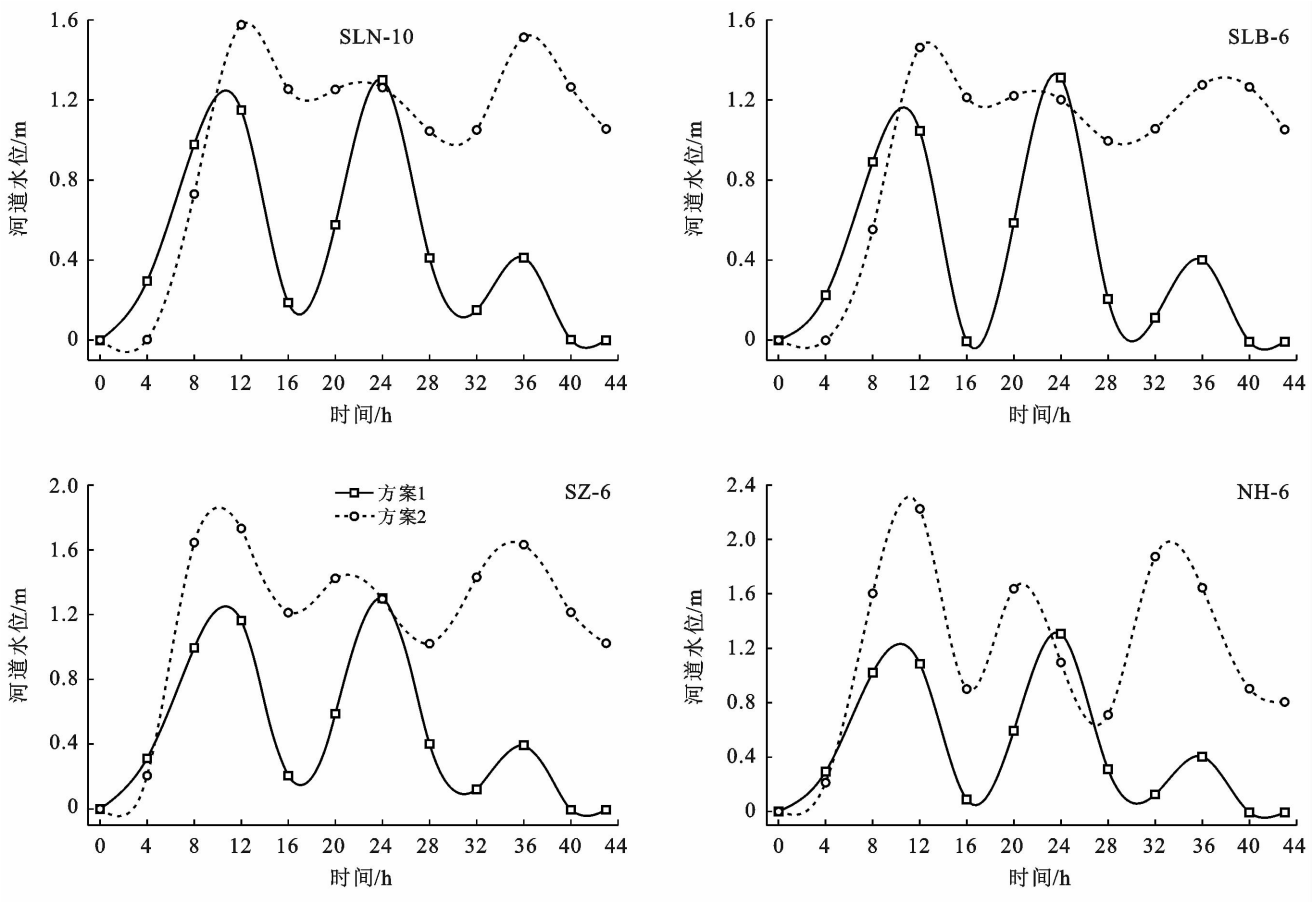


图 2 代表性断面水位随时间变化对比曲线

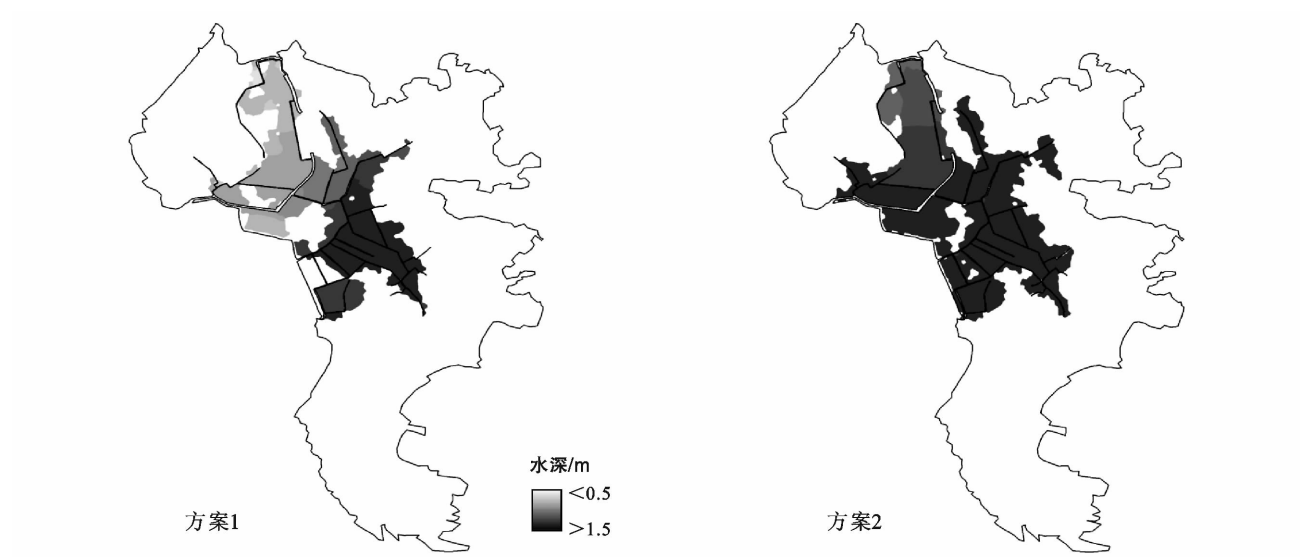


图 3 相对高水位时刻研究区域最大淹没水深

3.2.3 重点区域洪水演进过程分析 四丈河上、中游沿岸区域为朱家尖街道居民集聚区，是整个研究区域防洪排涝的重点区域。方案 1，模拟至第 1 h，重点区域开始进水，初始最大淹没深度达到 0.7 m，并在随后的 5 h 内保持这一淹没深度不变；模拟至第 7 h，最大淹没深度升至 0.9 m，至第 9 h，最大淹没深度达到近 1.8 m；随后淹没深度逐渐降低，至第 20 h，最大淹没深度降至 0.8 m。随后淹没深度再次增加，并于第 24 h

升至 1.8 m;然后,洪水开始消退,至第 31 h,最大淹没深度降至 0.8 m,并保持这一最大淹没深度直至模拟结束。相对于方案 1,方案 2 初始淹没时间较晚,但淹没深度大。模拟至第 6 h,重点区域开始进水,初始最大淹没深度达 1.3 m,随后淹没深度继续增大,于第 7 h 达到最大 2.4 m,并保持这一淹没深度至第 12 h;在第13～32 h时间段内,淹没深度在波动中降低,并于第33 h又开始上升;至第 35 h,洪水开始消退,于第 42 h最大淹没深度将至最低 1.2 m,并保持这一最大淹没深度直至模拟结束。重点区域最大淹没深度随时间的变化如图 4 所示。最大淹没深度出现峰值的时刻与上述河道水位过程出现峰值的时刻基本一致。

表 2　两种方案中研究区域淹没情况

方案	主要淹没区域	淹没水深范围/m	淹没面积占总淹没面积比例/%
方案1	机场河下游右岸部分区域	0.6～0.7	0.8
	石榴江北与机场河以及石榴江引河上游所围成的中间部分区域、石榴江南下游右岸部分区域	0.7～0.9	17.3
	石榴江南与机场河支流以及石榴江引河下游所围成的中间区域	0.9～1.1	20.8
	白山河上游河道两岸、石榴江南上游与农场五眼河以及四丈河所围成的中间区域	1.1～1.3	12.5
	九礁河与南河下游围成的中间区域,四丈河上游左岸以及下游右岸部分区域	1.3～1.5	17.2
	四丈河中游以下与南河围成的中间区域	≥1.5	31.5
方案2	机场河中下游河道两岸	1.2～1.3	4.7
	石榴江北与机场河以及石榴江引河上游围成的中间区域	1.3～1.4	7.0
	石榴江引河与石榴江南、四号河、机场支流以及机场河上游围成的部分区域	1.4～1.5	3.2
	整个四丈河以及南河流域,顺母片河沿岸区域以及石榴江南中下游河道沿岸区域	≥1.5	75.0

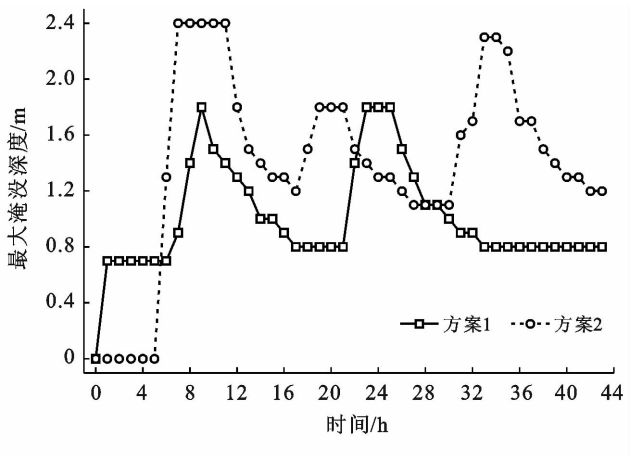


图 4　重点区域最大淹没深度随时间变化曲线图

4　结论

(1) 两种方案四丈河中游以下与南河围成的中间区域淹没深度均较大,设计降雨与校核潮位的组合方案受灾程度重于设计降雨与设计潮位的组合方案。该区域为朱家尖街道居民集聚区所在地,但原有居住区地势较低,是朱家尖岛防洪的重点区域。

(2) 研究区域现状防洪能力较低,且暴雨与高潮位叠加明显加重了研究区域的洪涝灾害情况。针对海岛地区小流域的暴雨及其产流汇特点,为了减少洪涝灾害损失,需采取山塘水库除险加固、提高堤防防洪标准、河道整治、建强排泵站等工程措施以有效防御山洪灾害。

[参 考 文 献]

[1] 国家防汛抗旱总指挥部,水利部. 中国水旱灾害公报2015[M]. 北京:中国地图出版社,2016.

[2] 国家防汛抗旱总指挥部,水利部. 中国水旱灾害公报2016[M]. 北京:中国地图出版社,2017.

[3] 刘卫林,刘丽娜,梁艳红,等. 基于 MIKEFLOOD 的中小河流溃堤洪水风险分析[J/OL]. 水利水电技术:1-18[2019-11-30]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1757.TV.20190508.1041.023.html.

[4] 艾小榆,刘霞,徐辉荣,等. 基于 MIKEFLOOD 模型的湔江蓄滞洪区调度运用方案研究[J]. 水利水电技术,2017,48(12):125-131.

[5] 余铭婧,许有鹏,王柳艳. 城市化影响下东南沿海中小流域洪灾风险分析:以甬曹浦地区为例[J]. 自然灾害学报,2013,22(4):108-113.

[6] 马海波,郑雄伟,魏婧. InfoWorks CS 软件在金华市城区江南片洪涝模拟中的应用[J]. 水电能源科学,2013,31(10):50-52.

[7] 项捷,许有鹏,杨洁,等. 城镇化背景下中小流域洪水风险研究:以厦门市东西溪流域为例[J]. 水土保持通报,2016,36(2):283-287.

[8] 彭建,魏海,武文欢,等. 基于土地利用变化情景的城市暴雨洪涝灾害风险评估:以深圳市茅洲河流域为例[J]. 生态学报,2018,38(11):3741-3755.

[9] 黄国如,吴思远. 基于 Infoworks CS 的雨水利用措施对城市雨洪影响的模拟研究[J]. 水电能源科学,2013,31(5):1-4,17.