

中小河流防洪特征水位与雨量预警阈值分析方法研究

胡余忠¹, 汪朝霞², 周 斌², 江世启³

(1.安徽省水文局,安徽 合肥 230022;2.安庆水文水资源局,安徽 安庆 246000;
3.安徽省石台县防办,安徽 池州 245100)

摘要:以新建的中小河流水文站点如何快速有效发挥减灾预警作用为切入点,采用山洪灾害调查评价的技术路线,以安徽省皖南山区石台县中心城区新建水文站点为例,调查了预警河段历史洪水信息,采集了沿河两岸居住地房屋基础高程,建立预警站点与影响人口的关联关系,并据此确定水文站点的特征水位以及基于现状防洪能力的雨量预警指标体系,确定警戒水位 54.0m、保证水位 55.3m。1h 流域平均净雨强度 70mm/hr,或 6h 面平均雨量 110mm 为致灾临界雨量阈值。

关键词:山洪;调查评价;特征水位;预警阈值;石台

中图分类号:P333 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2019)01-0027-06

1 引言

中小河流水文监测系统建设项目实施以后,水文监测站点密度大幅提升,但是存在两个客观不足,使得实时水文要素在防汛减灾中发挥的作用受限,一是新建站无历史资料积累,不能实现历史排位对比,无论是雨量还是水位都无法依数值知晓严重程度;二是没有特征水位,站点要素与预警对象之间缺乏关联,水位高低与淹没影响没有建立联系,不能起到有效预警作用。此两问题不破,新建站为“裸站”,还不能走向防汛的前台。2016 年开始,国家有关部门开始推进特征水位分析工作。本文以安徽省皖南山区石台县中心城区新建水文站点为例,采用“山洪灾害调查评价及预警关键技术研究及应用”^[1]技术路线,通过历史洪水调查以及沿河两岸居住群房屋基础高程调查,评价预警对象防洪能力,建立水文与社会经济要素关联,基于此确定雨量预警阈值和特征水位。

石台县地处皖南山区西北部,属长江支流秋浦河流域。秋浦河流域历来洪涝灾害频繁,石台县是典型的山洪灾害频发地,防洪非工程措施建设十分必要,中小河流水文监测系统建设项目实施以后,2016 年始,安徽省水文局在此设立水位站,水文站点以上流域面

积 818km²。

2 技术路线

2.1 总体思路

中小河流防汛减灾预警指标体系建设需要满足三个条件,一是要划定预警范围(河段),二是掌握预警对象(人口集中区)历史洪水影响与现有的防御能力,最后是建立预警源(水文站)与预警对象(人)的关系,并依据防御能力确定预警指标体系。概括地说就是知晓昨天(历史洪水)、评价今天(现状防御能力)、锁定明天(预警指标体系),核心是人的安全,故具体实施路径是“以村落(集镇)为对象,以户籍为单元,以人为中心”,建立包含房屋高程错落变化的人口居住群这个预警对象与河流水文要素的关系。按照业务逻辑分三个阶段:

第一阶段是通过调查分析建立水文要素与淹没影响人口评价体系,此阶段按照“两条主线、归一融合”进行。主线 1 是通过调查获取预警对象关联河段历史典型洪水的水面线,并融合沿河居住群的房屋基础高程及房屋注册人口,推算典型洪水淹没影响,由淹没水深判别受影响房屋,由房屋关联注册人口。并基于不同量级洪水水面比降相同的假定(有条件分级

收稿日期:2017-11-20

作者简介:胡余忠(1962-),男,安徽绩溪人,教高,主要从事水文情报预报管理工作。E-mail:jxxbc@163.com

确定),上下平移水面线,获得不同等级洪水淹没影响,摘取不同等级洪水淹没影响人口及与之匹配的洪水水面线在代表断面上的水位,建立“水位与淹没影响人口关系线”。主线2是建立水位流量关系。此部分内容直接参照水文资料整编规范进行,需要强调的是除了实测以外,还需通过水文调查^[2]弥补实测水位流量关系水位变幅不足,通过获取比降、纵横断面、河床糙率等相关要素,建立水位流量关系线。“归一融合”是以代表断面水位为衔接要素,即水位与淹没影响人口关系、水位流量关系中的水位取相同断面数值,即同轴处理,构建“流量-水位-淹没影响人口”“同轴两线”核心基础,基于此确定成灾水位与成灾流量,作为洪水影响评价与预警指标体系分析的依据。

第二阶段是通过设计洪水计算,评价预警对象成灾水位对应的成灾流量相应风险等级(重现期),并依据成灾水位、流量,以及属地洪水涨率规律,推求警戒、保证水位。

第三阶段是依据成灾流量,利用属地设计洪水计算办法,确定暴雨时程分配,试算反推与成灾流量匹配的各种特征时段临界雨量(净雨阈值),即回答多长时间、多大净雨强度会成灾的问题。同时依据成灾流量的重现期,假定暴雨洪水同频率,获取与成灾流量重现期相同的不同时段雨量阈值,基此建立雨量预警指标体系。

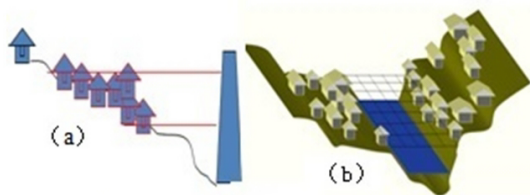


图1 静态与非静态水体淹没影响异同对照

Fig.1 Inundation effect contrast of static and non-static water level

2.2 核心技术

2.2.1 水位人口关系确定

山区河道坡度大,预警河段的水面落差大,不像湖泊、水库静态水体中高程人口关系与水位人口关系相同,如图1(a)所示,而是需要提供一种算法,能将沿河的水面线转化为水坡面,以此确定既有纵向又有横向变化的房屋高程布局与水坡面高程的关系,如图1(b)所示。笔者通过“山区非静态水体水位与淹没影响人口关系评价办法”^[3],提出了“锁定河流轨迹,标定起算原点,指定代表断面,洪痕、房屋最短距离双对象平面投

影”思路,建立了预警河段洪水水面线、河道纵坡线、房屋基础高程“三元同系”的业务逻辑识别体系,如图2所示,具体操作分4个步骤:

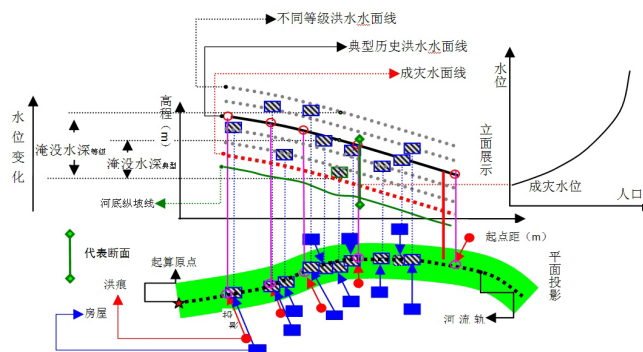


图2 双投影法水位与淹没影响人口分析示意

Fig.2 Water level and inundated population analysis by using double projection method

第1步:依据预警对象关联河段的纵断面测量成果(包括高程与坐标),绘制河流轨迹线,并将上游起始点标注为原点。

第2步:将调查洪痕依据其坐标向河流轨迹投影,摘取河流轨迹线上洪痕投影点相对原点的起点距,匹配洪痕点水位,建立水位沿程变化坐标系。

第3步:将房屋依据其坐标同样向河流轨迹投影,摘取河流轨迹线上房屋投影点的起点距,匹配房屋基础高程,融合于水位沿程变化坐标系中。实现水面线与房屋淹没影响关联,提取房屋注册人口属性,计算此水面线下淹没影响人口。

第4步:假定不同的水面线(不同量级洪水),即可获取不同的淹没人口。确定一个代表断面摘取不同量级洪水水面线在代表断面上的水位,即可建立水位与淹没影响人口关系。

图2中以第一户开始受灾时的水面线为成灾水面线,成灾水面线在代表断面上的水位即为成灾水位,其相应流量为成灾流量。

2.2.2 临界雨量阈值分析方法

降雨阈值分析有反推、同频率及事件统计三类。本文重点介绍反推法与同频率法。

反推法推算雨量阈值是基于成灾流量对流域产汇流的逆运算,在已知属地产汇流参数条件下,还涉及3项待定要素,一是降水量大小,二是降水量的时程分配,三是前期土壤湿润情况,三种不确定因素组合,要形成相同峰值有无穷个解,等于“无解”。解决思路是前期影响可以通过产流解决,即形成净雨。剩下

的是净雨量及其时程分配问题,需要设定时程分配,而后按照分配雨型给定特征时段长再设定雨量值,进行汇流计算,若洪水过程峰值小于成灾流量,则加大设定雨量值,反之减小,直至计算峰值与成灾流量相等,该设定雨量即为特征时段长的阈值。本研究降水时程分配选用属地设计暴雨时程分配成果或暴雨衰减指数公式: $H_{t,p}=24^{n-1}H_{24,p}t^{1-n}$ 。特别注意,不能直接以24h时段雨量试算,而后从中摘录不同时段雨量作为阈值,而是各种时段分别设定试算。综上所述,有了前置产流计算以及对降水过程分配的限定,净雨阈值推求就可实现有解。

同频率法是基于暴雨洪水同频率的假定,仅适应小流域。它通过调查阶段确定的成灾流量,按照属地设计洪水办法确定成灾流量的重现期,再基于属地设计暴雨统计成果,分析不同时段同频率的降水量。需要注意的是,此法按照流域汇流理论,当时段长大于等于流域汇流时间的同频率成果才有效,小于汇流时间的同频率特征时段雨量成果偏小。这个办法的优点是推求的阈值是毛雨量,可以直接用于预警,省略了产流计算环节。

3 调查与评价

3.1 测区布局

为了准确、有效反映水文要素与城市防洪能力关联,安徽省水文局按照上述技术路线组织开展了石台县城区山洪影响调查^[4],采集了1998、2016和2017年沿河洪痕,勘测了沿河两岸居住地房屋基础高程,组成了包括中心城区、上游六房村、下游望街街三个区片纵向16km的调查测区。测区内共实测大断面36余处,历史洪痕点43处。特别是2016、2017年洪痕均在洪水

过后第一时间标注,成果可靠。

3.2 水位流量关系

石台为新设水文站,水位自动测报从2016年汛期投入使用,为了满足石台防洪预警特征水位分析需要,2017年开展流量测验,本站没有缆道设施,以桥梁为过河设备,利用ADCP和电波流速仪测流。2017年实测最大流量1660m³/s,相应水位53.96m(黄海),“2016.7.3”洪水最高水位56.03m,1998年最高水位58.10m(调查),实测流量相应水位变幅不满足水位流量关系确定要求,采用实测流量与水文调查成果融合方式进行。依据曼宁公式使用条件,在断面已知且断面稳定条件下,高洪流量确定主要影响要素是比降与糙率。据历史洪水调查考证,石台河段不同量级洪水条件下,沿河水面线基本平行,如图3所示,水面比降稳定在0.9‰左右。另据实测流量反推糙率成果,如图4(b),石台站高水位时对应的糙率取值在0.035~0.045之间,据此确定调查洪水的洪峰流量,如表1所示,综合确定的水位流量关系线如图4(c)所示。

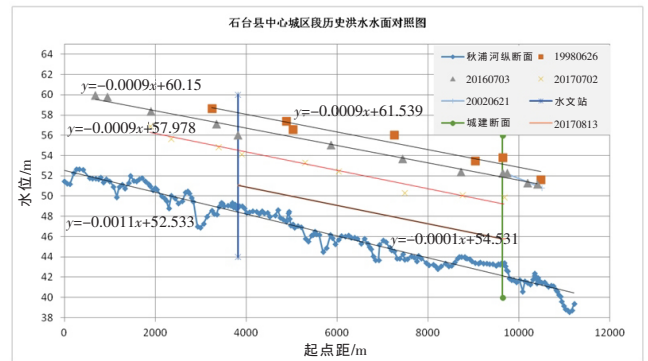


图3 石台城区河段不同量级(场次)洪水水面比降对照图
Fig.3 Contrast of water surface slope for different magnitude floods in Shitai urban area

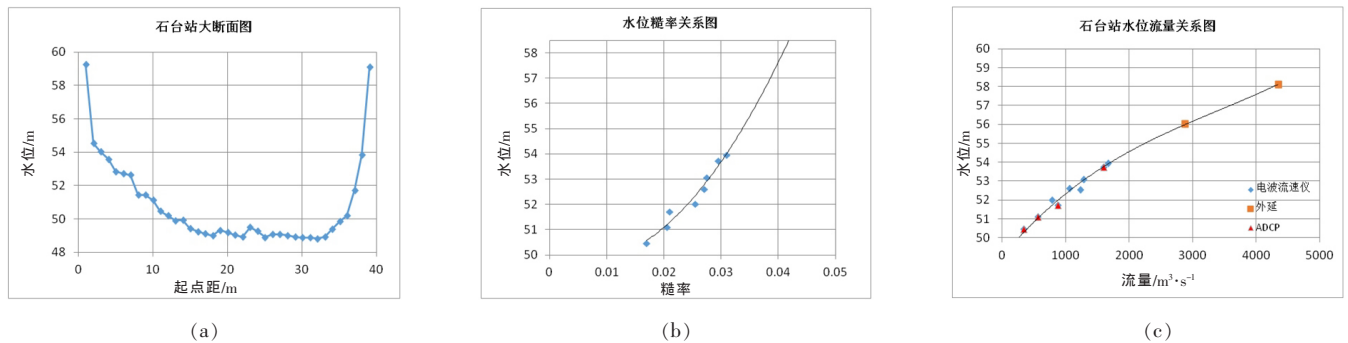


图4 石台水位站水位流量关系分析成果图

Fig.4 The stage-discharge relationship at the Shitai station

3.3 成灾水位与成灾流量确定

石台调查测区分三个部分,分别是上游六房村

测区、主城区及下游望仙街测区,鉴于各测区流域面积、水面坡度以及两岸人口高程布局不同,按照先分

表1 调查洪水洪峰流量成果表

Table1 The peak discharge results of the flood investigation

洪号	水位/m	比降	糙率	流量
“1998.06.26”	58.10	0.9‰	0.042	3930
“2016.07.03”	56.03	0.9‰	0.037	2720

注:流量单位:m³/s;河底约束 48.85,对应流量 0。

区确定,再依据短板效应原则确定集总测区的成灾水位。

3.3.1 分部测区成灾水位确定

以“2016.07.03”洪水沿线洪水水位分布,融合两岸居民房屋基础高程,各分部测区按照投影方法^[3]进行淹没分析,六房、中心城区以及望仙街沿河道方向洪水对两岸居民淹没影响如图 5 所示,据此确定六房测区成灾水位 60.90m,对应成灾流量 1 540m³/s;望仙街测区成灾水位与流量分别为 45.80m、1 480m³/s。主城区虽然防洪墙抵挡,在其保护区内,水位高于两岸房屋基础高程未必成灾,如图 6(b)右图中成灾水位以下部分对应的居住地,但是防洪墙保护范围外的伏虎河左岸以及伏虎河与秋浦河交汇口以下不在防洪墙保护范围还是易涝成灾,故主城区成灾水位以此段人口布局为准,确定成灾水位、流量分别为:53.8m、1730m³/s。各测区“流量-水位-人口”关系如图 6 所示。

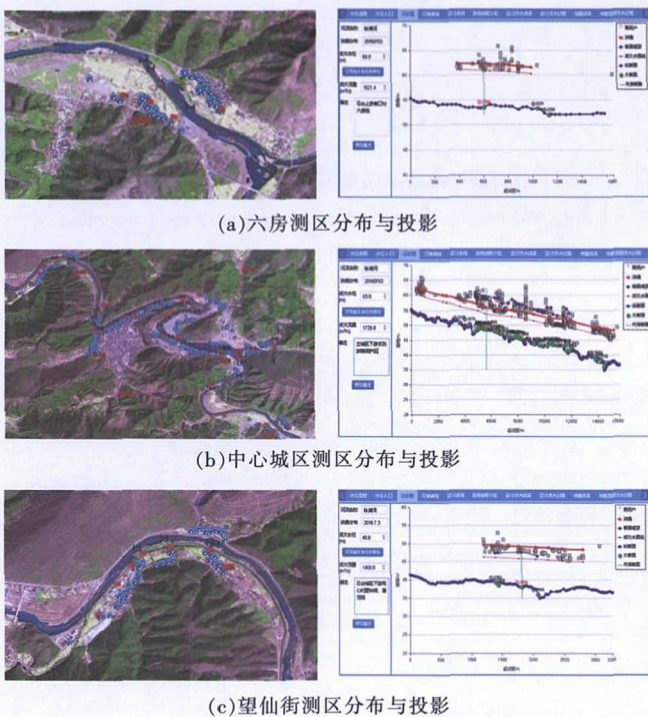


图 5 各测区水位、房屋基础高程投影综合对照图

Fig.5 The comprehensive comparison of water level and building elevation projection

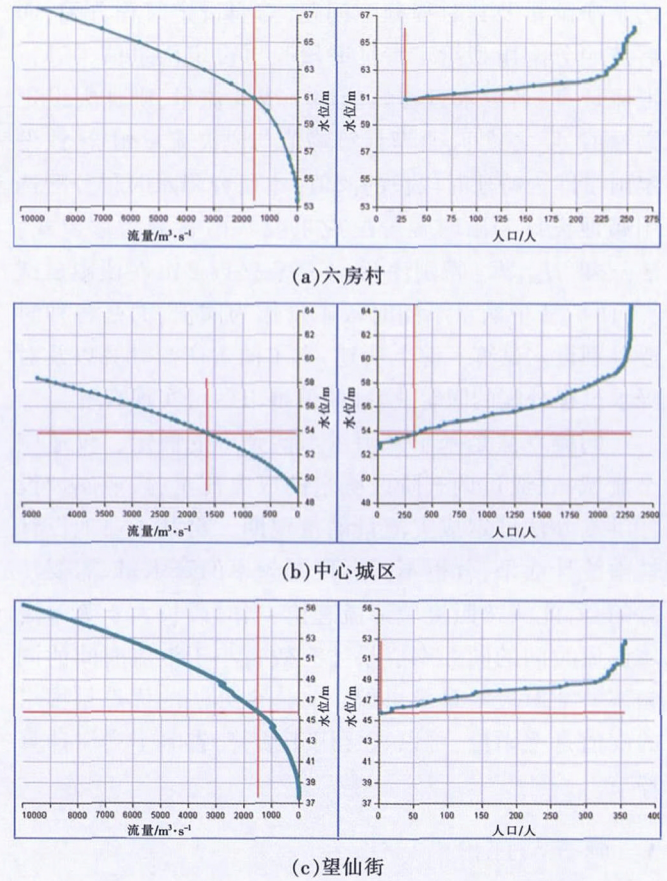


图 6 石台城区上下游关联河段调查点同轴两线成果图

Fig.6 The result of investigation point of upstream-downstream villages in the Shitai urban area

3.3.2 综合成灾水位确定

基于各分部成灾水位分析成果,计算各个分部测区代表断面与预警断面(石台水文站)的水位落差,确定各个分部成灾水位对应预警断面(石台水文站)的水位^[5]。依据前述分析,中心城区水面比降为9‰,各分部测区代表断面与预警断面的距离如表 2 中 ΔL 代表一水文所列,计算各测区成灾水位对应于预警断面的成灾水位成果如表 2 中 $Z_{灾,水文}$ 所示,依据各个分部成灾水位及对应的水位流量关系,推算各个居住集中群成灾流量在 1 500~1 700m³/s 之间,最后确定按照短板效应原则确定综合成灾水位为 53.50m,成灾流量 1 500m³/s。

3.4 影响评价

石台县无资料地区,设计洪水采用属地及周边既有办法^[6-8],其中面积比拟法以秋浦河石台下游高坦水文站为参照站,经验公式采用《黄山水文手册》成果,从成果知,方法之间差异较大,故以多方法均值作为综合结果,见表 3。以成灾流量 1 500m³/s 对比表 3 成

表2 石台中心城区及上下游关联村落成灾水位分析成果表

Table2 The disaster water level analysis results of upstream-downstream villages in the Shitai urban area

位置	居民集群	代表断面	Z _灾 /m	Q _灾 /m ³ ·s ⁻¹	i/%	ΔL _{代表-水文} /m	Z _{灾,水文} /m	ΔL _{水文-城建} /m	Z _{灾,相应城建} /m
主城区上游	六房村	1号断面	60.9	1521		4795	56.6		51.42
主城区	主城区	8号断面	53.8	1730	0.9	0	53.8	5740.00	48.63
主城区下游	望仙街	3号断面	45.8	1480		8514	53.5		48.30

注:主城区成灾水位以城市防洪墙下游外围非保护区。

表3 石台水位站设计洪水成果表(m³/s)

Table3 Design flood results of the Shitai station

重现期/a	面积比拟	84办法	安徽手册	经验公式	综合
100	3750	5650	4712	3213	4330
50	3260	4629	4070	2874	3710
20	2714	3202	3290	2423	2910
10	2282	2307	2660	2061	2330
5	1821	1483	2055	1671	1760

果,现状防御能力低于5年一遇。

4 预警指标

4.1 雨量预警阈值

以成灾流量 1500m³/s 为基础,采用新安江模型和安徽省山丘区设计洪水办法(简称“84”办法),以试算反推法^[9]推求不同时段雨量预警阈值(净雨)。同时根据各个分部成灾流量的重现期,假定暴雨洪水同频率,确定特征时段雨量预警阈值(毛雨量),结果如表4所示。需要说明的是,反推法成果需要前置产流计算,同频率法预警时段要大于流域汇流时间,本流域汇流时间约6h。

表4 石台中心城区及上下游关联村落雨量预警阈值表(mm)

Table4 The warning threshold values of the upstream-downstream villages in the Shitai urban area(mm)

位置	居民集群	预警时段						
		1h	2h	3h	6h	12h	24h	
反推法	六房村	73	74	74	77	86	107	
	“84”办法 主城区	81	81	82	85	94	116	
	望仙街	68	68	69	71	78	97	
	新安江模型 主城区	73	73	74	108	116	153	
同频率法	六房村				111	155	181	
	“84”办法 主城区				121	167	197	
	暴雨统计 望仙街				110	151	151	

注:反推法阈值成果需要前置产流计算,同频率法预警时段要大于流域汇流时间。

4.2 特征水位

石台中心城区防办在水文站下游5740m处,设立人工观测水尺,警戒水位为47.00m,对应水文站点水

位52.20,相应流量990m³/s。直接从断面上看,现有警戒水位还没有上滩地,警戒水位偏低,但是石台以上流域为典型的山溪性河流,洪水暴涨暴落,就“2016.6.24”洪水看,最大小时涨幅达到1.35m,从警戒到成灾水位仅仅只有1小时15分钟时间。综合评估确定石台站警戒水位为52.20m,保证水位为53.50m。同时为了兼顾长江流域水位高程系一致,石台水文站水位采用吴淞基面,吴淞与黄海高程差1.83m,取整后确定石台水文站警戒水位54.0m、保证水位55.3m。

5 结语

本文借鉴山洪灾害调查评价的技术路线与分析方法,以中小河流新建站点石台为例,开展洪水调查与沿河居住群高程布局调查,建立了预警源(水文站)与预警对象人口布局的关联,开展了预警对象防御能力评价,提供了成灾流量,确定了水文站点特征水位,并依据成灾流量提交了特征时段临界雨量预警阈值,有效解决了中小河流新建站点无历史参照、无预警关联“裸站”问题,实现了由提供水文数值向水文要素影响效应的转变。本文提供的技术路线可供同类站点预警指标体系建设提供参考。

本文综合考虑了石台县城及关联村落实际防洪能力,给出了预警对象防御能力总体不到5年一遇的结论,确定警戒水位54.0m、保证水位55.3m。1h流域平均净雨强度70mm/hr,或6h面平均雨量110mm为致灾临界雨量阈值,此成果可以作为石台防汛的参考依据。

参考文献:

[1] 胡余忠,徐业平,叶成林,等. 山洪灾害调查评价及预警关键技术研究与应用[R].安徽省水文局,安徽省防汛抗旱指挥部办公室,2016. (HU Yuzhong, XU Yeping, YE Chenglin, et al. Mountain flood disaster investigation and evaluation and key technology research [R]. Hydrology Bureau of Anhui Province, Office of Anhui Province Flood Control and Drought Headquarters,2016. (in Chinese))

[2] SL 196-2015, 水文调查规范[S]. (SL 196-2015, Code for Hydrological Investigation [S]. (in Chinese))

- [3] 胡余忠. 山区非静态水体水位与淹没影响人口关系评价方法:ZL 2014 1 0803764.4[P].2016.6.29(HU Yuzhong. Assessment method of relationship of non-static water level and inundated population; China,ZL 2014 1 0803764.4[P].2016.6.29(in Chinese))
- [4] 胡余忠.山洪灾害影响评价外业调查核心技术问答[J].中国防汛抗旱, 2015,2. (HU Yuzhong. Questions and answers of core technologies about field investigation on mountain flood disaster impact assessment [J]. China Flood and Drought Management, 2015,2. (in Chinese))
- [5] 胡余忠,姚学斌,章彩霞,等. 山洪影响调查评价与预警体系建设方法研究——以昌江芦溪河段为例 [J]. 水文, 2015, (3). (HU Yuzhong, YAO Xuebin, ZHANG Caixia, et al. Investigation and evaluation of flash flood effect and research on construction of early warning system: take Luxi reach of Chang River as a case [J]. Journal of China Hydrology, 2015, (3). (in Chinese))
- [6] 安徽省水利勘测设计院. 安徽省山丘区设计洪水计算办法 (简称“84”办法)[R]. 1984. (Anhui Water Investigation and Surveying Institute. Design flood calculation method in hilly region of Anhui Province[R].1984.(in Chinese))
- [7] 安徽省水文总站. 安徽省水文手册[R]. 1975. (Hydrology Bureau of Anhui Province. Handbook of Anhui hydrology [R].1975. (in Chinese))
- [8] 黄山水文水资源局.黄山水文手册[R]. 2015. (Hydrology and Water Resources Bureau of Huangshan City. Handbook of Huangshan hydrology [R].1975. (in Chinese))
- [9] 胡余忠. 山洪影响评价与预警阈值分析关键技术问答[J]. 中国防汛抗旱, 2016,2. (HU Yuzhong. Questions and answers of key technologies about threshold value of warning analysis on mountain flood impact evaluation [J]. China Flood and Drought Management, 2016,2. (in Chinese))

Analysis of Specific Water Level of Flood Control and Threshold Value of Rainfall Warning for Small- and Medium-sized Rivers

HU Yuzhong¹, WANG Zhaoxia², ZHOU Bin², JIANG Shiqi³

(1. Hydrology Bureau of Anhui Province, Hefei 230022, China;

2. Anqing Hydrology and Water Resources Bureau of Anhui Province, Anqing 246000, China;

3. Office of Shitai Flood Control and Drought Headquarters of Anhui Province, Shitai 245100, China)

Abstract: In order to address how the newly-built hydrometry stations of small- and medium-sized rivers can be effectively used for flood warning, this paper investigated the historical flood information of warning river reach, measured the elevation of riverside residences, and then established the relationship between the warning stations and socioeconomic factors of the river reach based on the technical strategy of investigation and evaluation of flash floods. The technical system was then proposed to determine the specific water levels of hydrometry stations and warning threshold values on the basis of current flood control capability.

Key words: flash flood; investigation and evaluation; specific water level; threshold value of rainfall warning; Shitai

(上接第 49 页)

Trend Analysis for Blue and Green Water Resources in Chaobai River Basin Based on Hydrologic Cycle Simulation

XIE Zibo^{1,2}, ZHU Kui¹, LU Fan², XU Yiran^{1,2}, SONG Xinyi²

(1. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China;

2. Institute of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Chaobai River basin is one of the crucial water supply sources for Beijing, and it is significant to study on the variation trend of water resources in the basin to maintain the stable ecology system and economic development. This paper simulated the hydrology cycle process in the basin combined with the SWAT model, and analyzed the variation of blue and green water resources in the basin during 1960–2008, and then made prediction for the future. The results indicate that the blue and green water flow were decreased significantly while the green water storage were increased slightly during the research period. The tendency rates of these hydrologic variables are $-19.33\text{mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$, $-6.92\text{mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ and $0.70\text{mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$ respectively. The prediction results propose that the change trend of blue and green water resources would be continued.

Key words: hydrologic cycle simulation; SWAT model; Chaobai River basin; blue and green water resources; variation trend