

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2018168

# 实时洪水风险分析技术在防汛应急中的应用

丁志雄 李 娜

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心, 北京 100038)

**摘 要:**实时洪水风险分析可以在防汛应急、抢险救灾等方面发挥重要作用,但由于技术条件、数据基础等各方面原因,全面实现实时洪水风险分析还有较大难度。梳理总结了一套实时洪水风险分析的方法,包括基础资料、模型方法、技术流程等,并以2018年6月赣江支流蜀水超历史记录洪水的实时分析为例进行模型方法的检验。检验结果表明,该分析方法有效、可行,在防汛应急指挥调度等工作中能发挥重要作用。最后,指出全面实施实时洪水风险分析目前仍存在着工作机制、条件支撑、与相关部门的协作等诸多制约因素;针对存在的问题,给出了相应部门组织、运行机制、协作运行方式等方面的建议。

**关键词:**实时;洪水;风险分析;防汛;应急;抢险救灾

中图法分类号:TV877

文献标识码:B

文章编号:1673-9264(2018)07-01-07

## 1 概 述

洪水风险分析是指对洪水可能造成的淹没及影响进行模拟、计算、分析与评估等方面内容的总称。实时洪水风险分析是在洪水将要发生或在洪水发生过程中,根据实测或预报的降雨、水位、流量等水文信息,开展洪水模拟分析和影响评估等,为防汛应急、抢险救灾等提供实时决策支持信息。对于洪水风险分析的研究,国内外的研究成果很多。水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心从20世纪80年代初就开始自主研发水文水动力学耦合模型进行洪水模拟和风险分析,并在2013年全国重点地区洪水风险图编制中成为推荐使用的模型之一。近年来,已有学者针对一些具体对象开展了实时洪水风险分析的有益探索,如李娜等<sup>[1-2]</sup>开展的城市暴雨内涝实时分析系统,改进了城市排水系统模拟模型,将为城市防洪规划服务的仿真模型改进为城市内涝实时预报模型,实现了城市内涝洪水实时模拟预报分析;丁志雄等<sup>[3]</sup>探讨了缺资料的中小河流实时洪水风险计算方法,实现了中小河流实时洪水风险的快速计算

分析;吴滨滨等<sup>[4]</sup>针对大陆泽及宁晋泊蓄滞洪区特点,构建了上游小流域水文模型,以及蓄滞洪区一维、二维耦合水动力模型,结合实时雨水情,实现了水文水动力耦合的洪水风险实时分析,在此基础上基于自主研发GIS平台,建立洪水风险实时分析系统;于思洋等<sup>[5]</sup>对新华垸在2017年发生溃决后,开展实地调查,从洪水前锋的到达时间、淹没水深、淹没范围等方面对新华垸溃垸洪水风险图编制成果进行了验证,为防汛抢险指挥决策提供支持。国外在结合洪水风险图的实时应用方面则更为深入,如英国已将洪水风险图应用于洪水预警、预报业务和相关系统当中,向系统中输入情景降雨数据,实时计算确定情景降雨时的洪水及对房屋、财产等的影响,并在部门间共享该信息,确定洪水预警等级并决策<sup>[6-8]</sup>;美国结合水情监测和洪水预报,将洪水风险图信息与水情信息及预报洪水等成果一起通过网络向全民公开,任何人只要通过网络访问,即可获取自己所处区域最近站点的实测及预报的洪水状况及洪水风险信息<sup>[9]</sup>。

2013年我国启动了全国重点地区洪水风险图的编制<sup>[10]</sup>,建立了重点防洪地区的洪水分析模型(包括重点防

收稿日期:2018-06-27

第一作者信息:丁志雄,男,教授级高级工程师,E-mail:28020492@qq.com。

洪城市的暴雨内涝模型)、洪水影响评估的基础信息数据库等,为开展实时洪水风险分析工作建立了良好的基础。同步开展的全国山洪灾害调查评价工作也为山区和中小河流的洪水实时分析提供了翔实的地形、地貌、水文特征和洪水影响特性等方面的基础信息数据。近年来,全国山洪灾害调查评价成果和全国重点地区洪水风险图编制成果为山洪灾害防御、防洪抢险与救灾、防洪规划与防洪工程建设等提供了重要的技术支持和参考,但在实时防汛、应急抢险救灾中应用支持的深度和广度还有待进一步挖掘,其重要的价值和潜力还没有得到广泛的认可和接受。而对于没有开展洪水风险图编制的区域,实时洪水风险分析在防汛应急、抢险救灾中的应用需求则更为迫切。本文从数据基础、模型方法、技术流程等方面介绍实时洪水风险分析的技术方法,探讨不同情况下洪水风险实时分析方法的选择,并以2018年6月赣江支流蜀水超历史记录洪水为例详细介绍实时洪水风险分析方法在防汛应急中的应用。

## 2 实时洪水风险分析方法

### 2.1 数据基础

(1)基础地理信息。实时洪水风险分析中的基础地理信息主要包括行政区划、交通道路、居民地、土地利用、地形数字高程模型(DEM)等。其中最重要的是地形DEM,其直接决定洪水的演进和淹没程度。一般的测绘数据能提供较高精度的地形数据,但由于城镇及工程的建设等,地形可能发生较大的变化,陈旧的测绘数据可能难于及时反映地形地貌的变化,因此及时更新地形地貌信息显得非常必要。当前以GPS为基础的基于卫星定位连续运行参考系统(Continuous Operational Reference System, CORS)的实时动态差分(Real-time kinematic, RTK)测量技术为快速、高精度地开展地形测绘和数据更新提供了方便、快捷的手段。而近年来兴起的无人机摄影测量技术,结合地面RTK测量的空间解算,可以更加高精度、快速、大范围地获取全部的地面信息,包括直接反映地面信息的数字正射影像(DOM)、包含了地表房屋与植被等信息的地表高程数据的数字地表模型(DSM)以及纯粹反映地面高程的DEM等,这些信息都可达到厘米级的精度。

全国山洪灾害调查评价和全国重点地区洪水风险图编制项目收集整理了我 国主要防洪区域的行政区划、交通道

路、居民地、土地利用、DEM等基础地理信息数据。在重点山洪灾害防治区域,对关键河道断面、历史洪痕点等开展了基于CORS的RTK地形测量,对于一些试点区域还开展了基于无人机的数字摄影测量来获取防洪区域的地面信息等。

(2)防洪工程信息。堤防、闸坝、涵桥、坑塘、水库等防洪工程很大程度上会影响洪水演进形态,在实时洪水风险分析中也需要考虑这些防洪工程的影响。全国山洪灾害调查评价和全国重点地区洪水风险图编制等成果的基础信息数据库中具备了比较全面、完整的我国防洪区域的主要堤防、闸坝、涵桥、坑塘、水库等防洪工程基础信息数据,并且在今后运行过程中,将不断补充完善和更新。

(3)社会经济信息。社会经济信息是开展洪水风险分析中洪水影响评估的重要数据基础,包括人口、资产、重点单位等。有了这些社会经济基础信息数据,才能在洪水分析计算的基础上进行洪水的影响评估分析,这些洪水影响评估的指标也是防汛应急响应工作中主要关注的几个重要方面。全国重点地区洪水风险图编制工作中,收集了重点地区以乡(镇、街道办)为单元的社会经济信息;全国山洪灾害调查评价收集了山洪灾害重点防治区域以村为单元的社会经济信息,这些详尽的社会经济信息能够为实时的洪水风险分析提供较为充分的社会经济信息输入。

(4)水文信息及糙率等。水文信息包括降雨、水位、流量等类型的数据,具体包含测站实时采集的数据和水文部门做出的预报成果以及历史序列资料等。实时采集的水文数据和预报数据是实时洪水风险分析中实时洪水模拟分析的重要输入,可以从报讯站点实时上传的实时雨水情数据库中获取,而一些历史洪水资料,包括历史洪水过程、历史洪痕等是率定、检验洪水计算模型的主要依据。糙率数据是洪水模型计算的主要参数之一,包括河道、滩地、洪泛区域等不同地表类型对应的糙率。全国山洪灾害调查评价成果包含了重点防治区域历史洪水资料以及主要河道的主槽、滩地的糙率;全国重点地区洪水风险图编制成果中,每个编制单元都具备较详尽的历史洪水资料和所采用的糙率分布情况等。

### 2.2 实时洪水计算的模型方法

在实时洪水风险分析中,洪水计算的模型方法可以采用水文学和水力学等不同方法,以适用快速和准确等不同情况的要求。

(1)水文学方法。对于中小河流等无堤防保护区域的洪水淹没分析,可以采用河流洪峰水位的洪水淹没扩展分析方法实现。即根据河道上游水文或水位站实测或预报的洪峰水位,通过洪峰水位的相关关系等经验方法或水文预报模型计算等,计算得到下游河道可能发生的洪峰水位。然后将沿河道水文/水位站点的洪峰水位相连,并向河道两侧基于DEM等地形数据进行洪水淹没扩展计算,如图1所示,同时考虑一些线状阻水构筑物阻水高程的判别,最后得到河道洪水可能泛滥淹没的区域。该方法可以在GIS系统中编制计算程序,形成快速分析计算的软件工具如图2所示。一个100 km<sup>2</sup>大小的河道洪水扩展淹没计算范围可以在几秒钟之内完成计算,快速形成淹没评估结果,为下游防汛应急响应、抢险救灾等提供充分、直观、及时的评判依据。

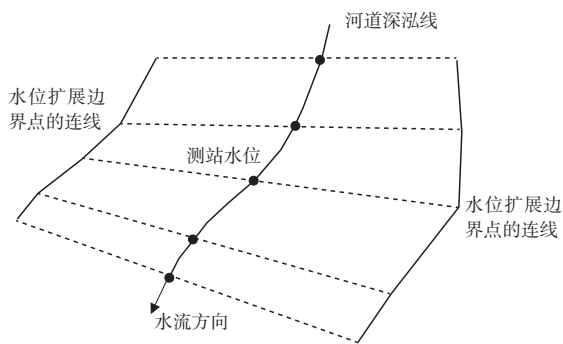


图1 洪水淹没扩展计算示意图

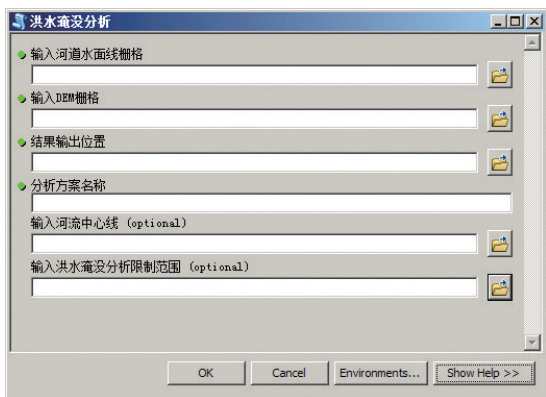


图2 洪水淹没扩展计算工具

(2)水力学方法。对于中小河流及防洪保护区等均可运用水力学方法进行洪水的模拟计算分析,并且方法具有严格的水量、水运动方程的控制,计算结果的精度和合理性更高。全国重点地区洪水风险图编制项目已对所有编制

对象(227处重点防洪保护区、78处国家蓄滞洪区、26处洪泛区、45座重点和重要防洪城市、198处重要中小河流重点河段)建立了严格遵守水力学方程的洪水计算模型,这些模型理论上都可以直接拿来相应区域的实时洪水模拟分析计算。如果计算洪水过程不超过24 h,计算网格数在50 000个以内,计算时间步长不超过1 min,大都可以在1 h以内完成洪水的实时模拟分析计算,相应成果可以为有关区域的防汛应急、抢险救灾提供技术支持。

对于目前全国重点地区洪水风险图编制项目中编制对象未覆盖的区域,亦可利用GIS等对地理信息的快速处理的优势,快速构建实时洪水风险分析区域的洪水计算分析模型,并在GIS平台上开发形成洪水分析计算模型的建模工具及运行平台。全国重点地区洪水风险图编制项目实施过程中开发的系列洪水风险分析软件(图3),可以为这样的平台构建提供重要的技术支持。对于1 000 km<sup>2</sup>以内的洪水模拟计算区域,能够在数小时内完成洪水模型的构建、检验、率定和实时洪水的模拟计算等,即能实现实时的洪水风险分析。

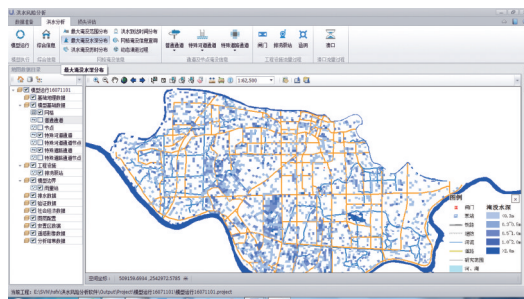


图3 洪水风险计算分析软件

一般河道上下游水文/水位站洪峰水位的传播时间都在数小时、甚至数十小时,有时还有数天的洪水预报期。因此,不论是利用水文学方法还是利用水力学方法,在洪水发生泛滥以前,都可以有较充分的时间进行实时洪水的模拟分析与计算,并进行洪水的影响评估,达到实时洪水风险分析的目的,为防汛应急、抢险救灾等提供科学、准确、可靠、合理的实时洪水风险信息。

水文学方法对精度要求不高而且不要求有很深厚的水力学模型计算基础就能实现洪水泛滥的淹没分析。水力学方法对精度要求高而且要有较好的水力学模型计算基础才能开展这项工作。因此,这两种方法分别适合于不同

条件下的应用,并各有优缺点。开展实时洪水风险分析的相关部门可以视自身情况选择不同方法,或根据实时洪水风险发生的不同情况,而选择更适合的方法。如对于洪水传播时间只有几小时的,宜采用水文学方法,可以较快速、相对准确地得到实时洪水风险信息;对于洪水传播时间较长,或有较长时间的洪水预报成果,则可以采用水力学方法进行实时洪水风险分析。

### 2.3 实时洪水风险分析的技术流程

开展实时洪水风险分析时,首先需要实时掌握和了解洪水的发生、发展状况,包括降雨分布、水位/水文站的实测水位流量等,根据实时雨水情信息系统,了解洪水的超警戒情况、超保证情况、超历史记录情况等,重点关注超警戒水位以上区域的河道洪水。洪水的发展变化过程最开始在河道上游产生,洪峰水位的形成具有明显的标志,如水位涨幅速度明显变慢、甚至接近于零。洪峰形成后,对河道下游的影响,可以用水文学方法或水力学方法进行实时洪水风险分析。采用水文学方法,用河道上游洪峰水位预估下游可能产生的洪峰水位,进行河道洪水的扩展淹没分析。采用水力学方法,则需要上游站点的实测洪水流量过程及后续预报的洪水流量过程,如图4为某测站实测及预报的水位—流量过程(6月27日以前为实测,6月27日以后为7 d 预测),或全部为预报流量过程,并将实测和预报洪水流量过程作为整个洪水过程输入洪水计算模型,进行洪水模拟计算分析。利用分析计算得到的洪水淹没范围,结合社会经济等基础信息,进行洪水影响评估分析,生成实时洪水风险分析成果报告及图件等,提交防汛应急指挥调度决策。实时洪水风险分析具体实施技术流程如图5所示。

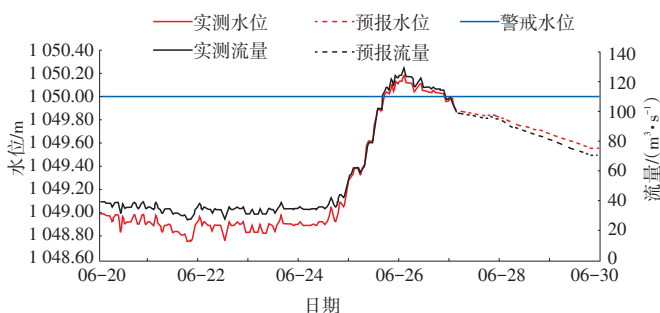


图4 某测站实测及预报水位—流量过程线

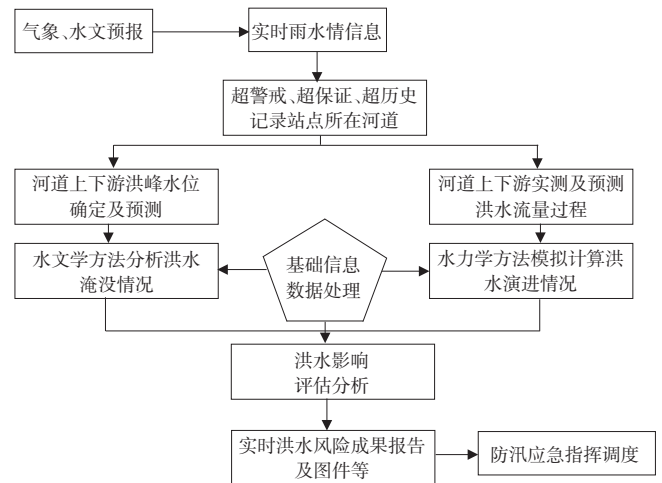


图5 实时洪水风险分析实施技术流程

## 3 应用实例——以2018年6月赣江支流蜀水超历史记录洪水为例

### 3.1 蜀水流域概况

蜀水流域(图6)地处江西省中西部的吉安市境内,大致介于东经 $114^{\circ} \sim 114^{\circ}40'$ 和北纬 $26^{\circ}20' \sim 26^{\circ}50'$ 之间,流经吉安的井冈山、遂川、万安、泰和等4个县(市),在泰和的马市镇于赣江左岸汇入赣江,为赣江的一级支流,流域总面积 $1\,301\text{ km}^2$ ,林坑水文站控制面积 $994\text{ km}^2$ 。流域南侧为遂川江,北侧为禾水,西侧为湖南的湘江,向东则注入赣江。蜀水发源于罗霄山脉,其源头位于井冈山市的茨坪街道。蜀水上游分为南北两支,主流为南支,两支在遂川县汇合。蜀水主河道长 $152\text{ km}$ ,纵比降 $2\%$ 左右。蜀水支流众多,面积达 $10\text{ km}^2$ 的支流共有数十条。流域多年平均年降水量 $1\,630\text{ mm}$ 、年径流量 $11.9\text{ 亿 m}^3$ ,年水面蒸发量 $856\text{ mm}$ 。蜀水上游的林坑水文站警戒水位 $86.00\text{ m}$ ,2002年6月16日实测最高水位 $89.32\text{ m}$ ,相应最大流量 $1\,330\text{ m}^3/\text{s}$ 。

蜀水流域主要包括井冈山市的黄垌乡、茨坪街道,遂川县的五斗江乡、衙前镇、双桥乡、新江乡,万安县的高陂镇以及泰和县的苏溪镇、马市镇等(图7),林坑水文站以上流域主要在遂川县境内。2005年年底,流域人口 $9.61\text{ 万人}$ ,地区生产总值 $3.78\text{ 亿元}$ ,已有高速、省道、国道各一条。流域耕地面积 $9\,600\text{ hm}^2$ ,农业种植主要为水稻,年产粮食 $8.36\text{ 万 t}$ 。蜀水落差大,水资源丰富,水力资源蕴藏量大,达到 $4.34\text{ 万 kW}$ 。流域内有一座中型水库(井冈冲水库)和梅陂及 $18$ 座小型水库,另有众多水陂和山塘,有效灌溉面积达到 $8\,430\text{ hm}^2$ 。

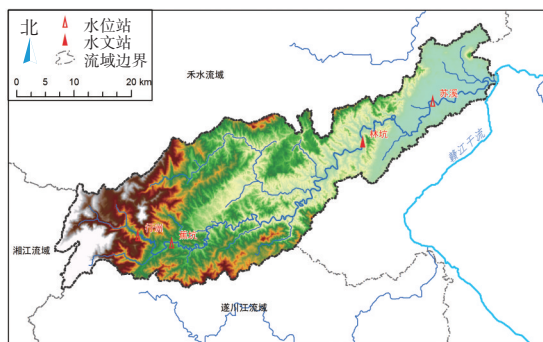


图6 蜀水流域分布图

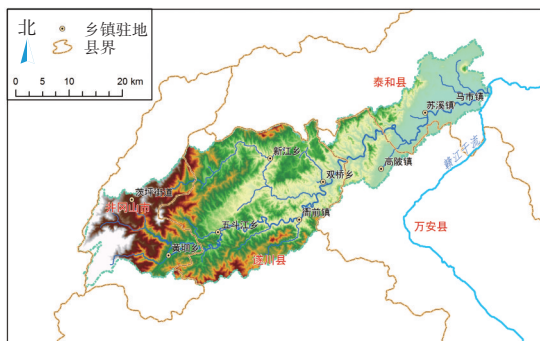


图7 蜀水流域相关行政区划图

### 3.2 蜀水流域2018年“6·8”洪水概况及实时洪水风险分析

(1)洪水概况。受2018年第4号台风“艾云尼”外围影响,6月7日4时至8日8时,江西中、南部降中到大雨,吉安、赣州多地降暴雨、大暴雨,暴雨中心位于吉安市井冈山、遂川一带。累计过程降雨量井冈山市124 mm,遂川县110 mm,上犹县60 mm,累计过程最大点降雨量遂川县五斗江乡五斗江站219 mm。受强降雨影响,赣江中游蜀水出现明显涨水过程。蜀水林坑水文站发生超历史记录水位洪水,8日7时30分洪峰水位90.95 m,超警戒水位4.45 m,超历史记录水位1.63 m,涨幅近7 m,相应流量1 890 m<sup>3</sup>/s。洪峰流量达50年一遇。

(2)实时洪水风险分析情况。2018年6月8日8时,在全国雨水情信息系统中发现江西赣江支流蜀水上的林坑水文站显示为超历史记录的洪水水位,查询水位过程后发现7时30分,林坑水文站水位达90.95 m。立即进行分析计算,得到林坑站下游位于苏溪镇的苏溪水位站将在5 h(即8日14时)左右后达到洪峰水位69.00 m左右(后来苏溪站8日14时实测洪峰水位68.85 m,预估值比实测值

略微偏大)。利用全国山洪灾害调查评价成果和全国重点地区洪水风险图编制成果等基础数据,用水文学方法在1 h内快速完成了林坑水文站以下洪水的淹没分析(图8)。

同时在3 h内快速构建了林坑水文站以下基于水力学的洪水模拟模型,并利用水林坑水文站实测及预报洪水流量过程作为模型的入流条件。由于赣江水位相对较低,因此模型出口条件设为自由出流,模型计算区域河道及滩地部分的糙率由相应全国山洪灾害调查评价成果中提取,洪水泛滥区域的糙率由相应土地利用确定,模型计算得到最大淹没范围如图9所示。所建立的洪水计算模型及入流洪水流量过程分别见图10及图11。

由图8及图9对比可见,基于水力学模型的计算结果比水文学分析方法的洪水淹没范围略小,从图11的洪水过程也可以看到,洪峰过程较为尖瘦,漫溢河道的洪量有限,水力学模型计算得更为精确。因此在条件允许时,还是建议采用水力学方法进行洪水的实时模拟分析。

图12为6月8日苏溪镇附近洪水淹没情况的航拍图像,洪水泛滥区域开阔,河道两侧平坦区域基本受淹,可见

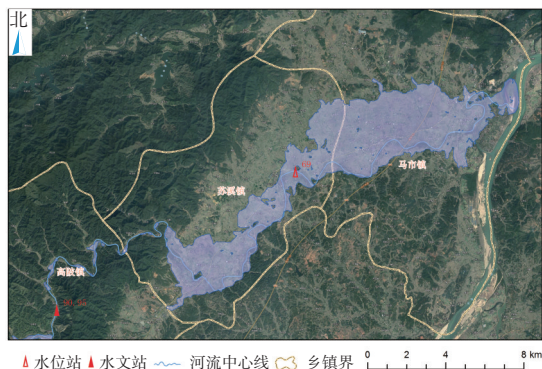


图8 水文学洪水水位扩展计算淹没范围

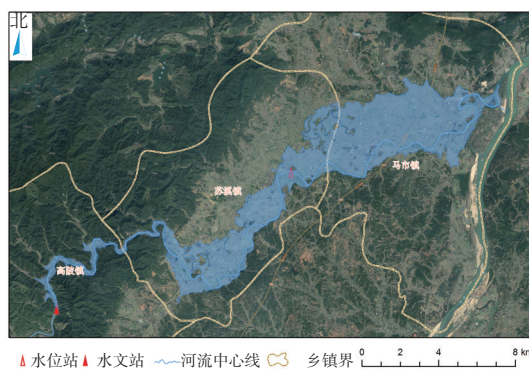


图9 水力学洪水模型计算淹没范围



图10 基于水力学的洪水模拟模型



注:图片来自中国新闻网。

图12 6月8日苏溪镇附近洪水淹没航拍图像

洪水模拟计算的淹没结果基本符合洪水淹没实况。

利用水力学模型计算的洪水淹没范围结果,结合社会经济等基础信息,进行洪水影响评估分析,得到苏溪镇、马市镇等10多个沿河村镇将受洪水淹没,受洪水严重影响的人口达2500人,这些实时洪水风险分析结果信息及时提供了相关部门,用于当地人员、财产转移及抢险救灾等的决策参考。

#### 4 结论与建议

在常规的概念中,洪水风险图或洪水风险分析更多的是应用于防洪规划、工程设计或洪水保险等防洪管理的方面。但如果实现了实时洪水风险分析,则与降雨预报、洪水的水位、流量预报一样,可以在防汛应急、抢险救灾等方面发挥重要作用,是气象水文预报的进一步延伸应用。在过去,由于计算机技术水平和基础条件等方面的制约,实时洪水风险分析难于在防汛应急过程中发挥应有的作用。随着现代高精度航空航天测量技术的发展,GIS等地理空间信息处理技术的提高,洪水计算模型的进一步改进,以及全国山洪灾害调查评价和全国重点地区洪水风险图编制

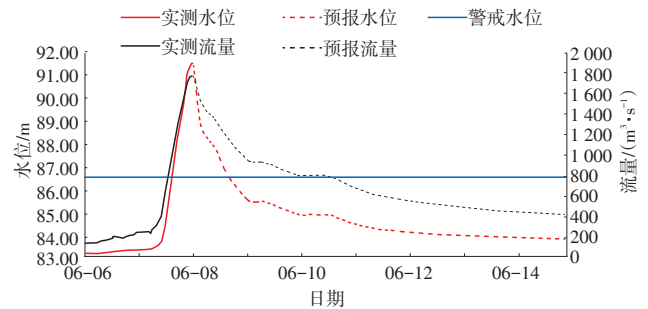


图11 林坑水文站实测及预报水位—流量过程线

任务的基本完成,洪水风险实时分析所需要的技术和基础资料得到了进一步夯实,初步具备了全面开展实时洪水风险分析的基础。

本文通过全面梳理,形成了一套实时洪水风险分析的方法,包括对基础资料、模型方法、技术流程等方面进行了较为全面的分析和论述。同时,通过以2018年6月赣江支流蜀水超历史记录洪水的实时分析实例,检验了本文所提方法的可行性和有效性。尽管如此,要能够全面实施实时洪水风险分析这项工作开展,在工作机制、条件支撑、与相关部门的协作等诸多方面仍需要大力加强。

为此,在当前国家机构改革,部门职能优化等有利条件下,国家层面应尽快确立实时洪水风险分析的技术支撑部门,负责全国洪水风险实时分析的技术指导、技术标准的建立和修订、模型方法等工具系统的研究和开发,基础信息平台的建设和维护,以及全国重点地区的实时洪水风险分析等,通过建立协调水文与防洪减灾深度融合机制,订立工作运行机制和投入日常运行专用经费,确保机构能正常运转和有效发挥。全国各省(自治区、直辖市)和流域机构确立相应实时洪水风险分析的技术支撑部门,或在现有水文部门的基础上增加相应职能,像目前水文部门提供降雨、水位、流量等实时或预报水文信息一样,在实时或预报水文信息的基础上,进一步提供准确可靠的实时洪水淹没信息(如洪水淹没范围、水深、流速、洪水到达时间、淹没历时等)以及洪水影响情况等实时洪水风险信息,为防汛应急指挥调度决策部门提供实时、准确、完整的防汛应急指挥调度决策支持信息。实现全国范围内各部门相互协作,各负其责地实施全国范围内的实时洪水风险分析。实时洪水风险分析技术在防汛应急工作中如果能够大范围全面开展应用,任何超警戒或超标准洪水的实时洪水风险

信息能快速获取并直接用于支持防汛会商、指挥调度决策等,将能大大提高防汛应急指挥调度决策的准确性、时效性,也能够更大程度减轻或减少因洪水导致的财产损失和人员伤亡。

### 参考文献

- [1] 李娜,仇劲卫,程晓陶,等.天津市城区暴雨涝灾仿真模拟系统的研究[J].自然灾害学报,2002,11(2):112-118.
- [2] 王静,李娜,程晓陶.城市洪涝仿真模型的改进与应用[J].水利学报,2010,41(12):1393-1400.
- [3] 丁志雄,叶梓川.缺少水文资料的中小河流洪水风险计算模型与方法[J].中国防汛抗旱,2012(6):54-57.
- [4] 吴滨滨,刘凤彩,喻海军,等.大陆泽及宁晋泊蓄滞洪区洪水风险实时分析系统研发[J].中国防汛抗旱,2017(2):16-22.
- [5] 于思洋,黄启有,汤喜春.洪水风险图在湖南华容县新华垸防汛抢险中的应用[J].中国防汛抗旱,2018(3):16-18.
- [6] Environment Agency. Guidance on surface water flood mapping for Lead Local Flood Authorities [R].2012.
- [7] Porter J, Demeritt D. Flood risk management, mapping and planning: the institutional policies of decision-support in England [J]. Environment & Planning A, 2012, 44(10):2359-2378.
- [8] Environment Agency. Flood information service [EB/OL]. [2017-04-13]. <https://flood-warning-information.service.gov.uk/river-and-sea-levels>.
- [9] U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA's National Weather Service Hydrologic Information on the Web A Manual for Users [EB/OL]. [s.n.]. <http://water.weather.gov>.
- [10] 田以堂,杨卫忠,许静.我国洪水风险图编制概况及推进洪水风险图应用的思考[J].中国防汛抗旱,2015(5):18-20.

# Application of realtime flood risk analysis in flood emergency and prevention

*DING Zhixiong, LI Na*

(1.China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038;  
2.Research Center on Flood & Drought Disaster Reduction of the Ministry of Water Resources, Beijing 100038)

**Abstract:** The realtime flood risk analysis can play an important role in flood emergency and disaster relief, but it is difficult to fully realize the real-time flood risk analysis because of the some factors, such as technical conditions, data base and so on. This paper summarizes a set of realtime flood risk analysis method, including basic datasets, model methods, and technical program. Taking the realtime flood analysis of the Shu River in the tributary of Ganjiang River in June 2018 as an example, the model method is tested. The results show that the method proposed in this paper is effective and feasible, and can play an important role in flood prevention, emergency, command and dispatch. Finally, it points out that the working mechanism, support condition, cooperation with other departments, and other restrictive factors still exist in the implementation of realtime flood risk analysis. Some suggestions are given to the department organization, operation mechanism and cooperative operation mode for those problems.

**Keywords:** realtime; flood; risk analysis; flood prevention; emergency; emergency response

责任编辑 马 啸