

# 基于分布式水文模型的中小河流洪水预报技术

刘志雨<sup>1,2</sup>, 侯爱中<sup>1</sup>, 王秀庆<sup>2</sup>

(1.水利部水文局,北京 100053;2.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098)

**摘要:**中小河流大多位于资料短缺的山丘区,洪水具有突发性强、汇流时间快、预见期短以及分布广的特点。中小河流洪水预报首要目的和任务是预警预报,预报方式应以自动预报为主,以实现及时预警,最大程度地避免人员伤亡,减轻灾害损失。本文分析了中小河流洪水预报的特点与难点,提出了中小河流洪水预报的思路及实用预报模型与方法,开展了基于分布式水文模型的中小河流洪水预报技术在新安江上游屯溪流域预警预报中的应用研究,以期为当前所开展的全国中小河流洪水预警预报系统建设提供参考。研究表明:分布式水文模型是资料短缺地区中小河流洪水预报的有效方法,基于分布式水文模型的洪水预报技术能够满足中小河流洪水自动预警预报的生产需要。

**关键词:**中小河流;洪水预报;分布式水文模型;预警

中图分类号:P338

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)01-0001-06

## 1 引言

我国地处季风区,地质地貌条件复杂,加之受气候变化与人类活动的影响,山丘区暴雨洪水频发,损失严重,主要发生在面积小于3 000km<sup>2</sup>的中小河流流域内。据统计,1950~2000年,我国洪涝灾害死亡人数为26.3万人,其中山丘区死亡人数约占总死亡人数的68.4%<sup>[1]</sup>,中小河流洪水灾害已成为造成人员伤亡的主要灾种,严重制约着广大山丘区经济社会可持续发展。

及时有效的中小河流洪水预警预报,对保障山丘区人民的生命财产安全具有重要的现实意义,也是目前最有效可行的防灾减灾非工程措施之一。2011年,全国中小河流水文监测系统建设项目全面实施,计划项目完成时,实现有防洪任务的5 186条重点中小河流(面积200~3 000km<sup>2</sup>)发生洪水时能及时预警,为我国中小河流防洪减灾提供决策依据。

中小河流洪水预报首要目的和任务是预警,通过观测和预报的降雨,预报超过洪水预警阈值的发生时间、洪峰大小及出现时间,据此及时发布预

警,提前转移人员和财物,最大程度地避免人员伤亡,减轻灾害损失。其次,是为了延长河系洪水预报的预见期和精度,为防洪调度指挥决策提供参考依据。

目前,我国中小河流水文监测系统正在全面实施,但其中的中小河流洪水预报技术还处于应用研究阶段。本文分析了中小河流洪水预报的特点与技术难点,提出了中小河流洪水预报的思路及实用预报模型与方法,开展了分布水文模型在新安江上游屯溪流域洪水预警预报中的应用研究,以期为当前全国所开展的中小河流洪水预警预报系统建设等提供技术指导。

## 2 中小河流洪水预报的特点与难点

### 2.1 中小河流洪水预报的特点与要求

中小河流洪水特点决定了其洪水预报有效预见期短、方案编制困难、方案精度评定有别于大江大河。中小河流洪水预报的首要任务是预警预报,通过及时发布预警,提前转移人员和财物,最大程度地避免人员伤亡,减轻洪水灾害损失;其次是为了延长河系洪水预报

收稿日期:2014-07-20

基金项目:水利部公益性行业专项经费项目(201201058):山洪灾害监测预警系统标准化研究

作者简介:刘志雨(1968-),男,江苏泰县人,教高,主要从事水文水资源研究。E-mail:zyliu@mwr.gov.cn

的预见期和精度,为防洪调度指挥决策提供参考依据。因此,要求中小河流洪水预报及时有效,尽可能准确预报洪峰值及出现时间,最好能预报超出洪水预警阈值(如警戒水位/流量)的出现时间,能预报出洪水持续时间更好。

## 2.2 中小河流洪水预报的技术难点

分析我国中小河流洪水预报的现状,总体存在以下4个方面的技术难点:

一是中小河流流域往往资料缺乏,基于数据驱动的预报模型或方法难以应用。中小河流大多位于水文监测资料短缺的山丘区,传统基于历时场次洪水的经验预报方法,或基于连续气象水文资料的流域水文预报模型难以有效应用。为此,需要应用无资料地区水文预报(PUB)方法,如水文区划方法、分布式水文模型(国际上解决PUB问题的常见方法)<sup>[2-4]</sup>。

二是中小河流的洪水突发性强,洪水预报预见期短。参考《湿润地区小河水文站网规划分析方法》中有关流域面积与汇流时间的关系,对于中小河流洪水历时通常在2~12h(参见表1)。传统基于2~6h报汛时段的预报方法很难对其进行有效的预报。为此,需要缩短报汛时段,一般10min、30min、1h。

表1 流域面积与汇流历时关系表

Table1 The relation between basin area and concentration time

面积 /km <sup>2</sup>	50	50~100	100~200	200~500	500~900	900~1 250	1 250~3 000
汇流 时间/h	0.5	1	1~2	2~3	3	3~6	6~12

三是中小河流洪水常常发生在夜间,洪水制作时间难以把握。以2013年为例,南方6省区(湖南、江西、浙江、福建、广东、广西)139个集水面积200~3 000km<sup>2</sup>的水文(位)站报洪峰762次,60%以上的峰现时间在夜间(晚8点至早8点)详见图1,传统以人工制作为主难以适应工作要求,宜采用基于水文模型的自动预报预警为主。

四是无规范可依,中小河流洪水预报方案精度和作业预报精度难以评定。中小河流洪水因其突发性强、汇流时间短,常属突发性洪水。现有《水文情报预报规范》(GB 22482-2008-T)规定,对突发性洪水预报可不作精度评定,但难以适应当前防汛工作的实际需要,急需组织编制中小河流洪水预报方案和作业预报精度评定方法,经试行后,再纳入国家标准中。

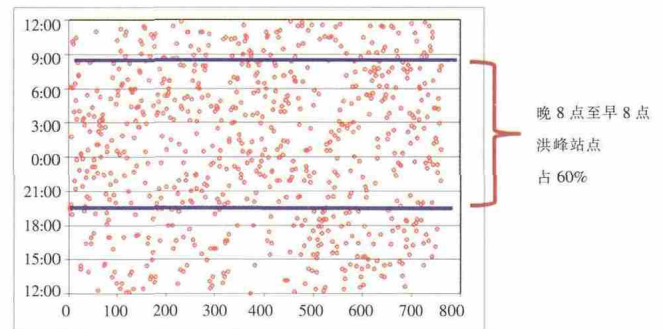


图1 2013年南方6省区中小河流水文站洪峰出现分布散点图  
Fig.1 Scatter plot of the flood peak time in small and medium-sized rivers of the southern six provinces in 2013

## 3 实用中小河流洪水预报模型与方法

中小河流流域面积小,大多位于山丘地区,其洪水预报实质上就是流域产汇流预报。如该预报断面上游有流量站输入,其预报就是上游河道汇流,加上区间降雨径流预报。因此,中小河流洪水预报方案编制应充分调查分析流域产汇流特性,考虑观测资料的情况,选择适宜的预报模型和方法。预报方案精度应根据流域汇流时间、观测资料的收集情况进行评定。

### 3.1 基础资料收集与整理

流域自然地理资料收集,包括土地利用、土壤类型、地形地貌、DEM(数字高程模型)数据、面积、坡度等。水文气象资料收集,包括雨量、蒸发、水位、流量、大断面资料、水位流量关系线、设计洪水计算成果、特大洪水调查资料、社会经济情况等。

断面情况查勘与调研,包括预报断面基本情况、河道行洪能力和河道防洪标准等。流域内水利工程查勘与调研,包括流域内水库、堰闸以及其他蓄水工程的基本情况以及调度规则、水保工程等基本情况。

根据资料收集和查勘调研情况,整理典型暴雨洪水场次资料,包括洪水摘录资料、洪水日资料、降雨摘录资料、降雨日资料和蒸发日资料。在此基础上,分析流域降雨径流关系、产汇流特征参数。

### 3.2 流域汇流时间确定

流域汇流时间是中小河流预报模型和方法选取的判别依据,由于中小河流水文监测系统处于建设初期,大量新建水文监测站点缺乏长系列历史观测资料,故可采用生产实践中应用较为广泛的推理公式法(参见北京水科院的推理公式(1))<sup>[5]</sup>、经验汇流速度公式、借助于分布式水文模型、暴雨洪水响应关系的地区规律等,推求计算流域汇流时间。

$$\tau=0.278 \frac{L}{mJ^{1/3}Q_m^{1/4}} \quad (1)$$

式中: $m$ 为汇流参数,通过各地《水文手册》中经验公式计算可得; $L$ 为流域主河道河长, $J$ 为河道比降,均可通过查算高比例尺地形图或谷歌地图([maps.google.com](http://maps.google.com))得到; $Q_m$ 为设计洪峰流量,在中小河流洪水预报预警应用中,该值可定为洪水预警特征值(如警戒流量),可由断面水位~流量关系线查算而得。

### 3.3 实用洪水预报模型与方法选取

对于流域汇流时间小于1h的流域,应采用临界雨量预警方法(详见《山洪灾害临界雨量分析计算细则》)<sup>[6-7]</sup>,建立临界雨量预警模型,推荐使用降雨量指标和前期影响雨量指标(用土壤饱和度指标表示)共同确定临界雨量<sup>[8-10]</sup>,临界雨量的时段尺度建议为30min、1h、2h、3h、6h。

对于流域汇流时间大于1h,有雨量、流量、水位资料(历史观测资料不少于5年)的流域,可以选取《水文情报预报技术手册-预报篇》<sup>[11]</sup>中列举的我国实用洪水预报模型与方法(不推荐使用经验预报方案)以及分布式水文模型等。

对于流域汇流时间大于1h,有雨量和水位观测资料(历史观测资料不少于5年)但无流量资料,同时无法建立水位流量关系曲线的流域,可直接选用神经网络模型、多元回归统计模型等数学模型建立雨量和水位的关系,进而直接预报水位;在有条件建立水位~流量关系曲线的流域,可以通过水位~流量关系曲线查得流量后,采用雨径流相关图法、经验单位线法、马斯京根河道演算法、API模型、新安江模型、陕北模型等模型或方法<sup>[11]</sup>。

若流域内建有小(一)型以上水库时,应考虑水库的调蓄影响,增加水库的入库流量和出库流量预报节点,或建立入库洪水预报和水库调度模块。

对于无资料或缺资料流域,可以根据已收集的场次洪水资料初步建立预报方案,或对现有资料进行延展、移用流域水文特性相近的其他流域水文模型参数建立预报模型方案,待观测资料逐步完善后重新率定参数或建立新的预报方案。也可采用水文比拟法、分布式水文模型等国际无资料地区预报(PUB)的常用方法。

### 3.4 基于分布式水文模型的洪水预报方法

中小河流洪水突发性强,常发生在夜间,依靠传统人工作业预报很难有效做出迅速反应,须加密预报频次,建立实时自动预报方式。其次,由于中小河流突发

性洪水在流域上发生具有点多面广的特点,因而,必须对洪水在整个流域境内的分布及演进情况有一个精确地描述,传统的基于集总方式的洪水预报难以满足中小河流突发性洪水预报的要求,推荐采用国内外先进实用的分布式水文模型。

近年来,通过国家防汛抗旱指挥系统工程、中小河流水文监测项目、山洪防治非工程措施项目建设,我国实时雨水情信息大幅增加,时效性大大提高,加之天气雷达测雨和数值降雨预报(NWP)的精度和水平不断提高,流域下垫面地理信息数量和质量也在稳步提高,基本满足分布式水文模型在洪水预报应用中的资料要求。国际上,以结构简单的分布式水文物理模型TOPKAPI为代表的应用于洪水预报的分布式模型不断涌现。随着计算机技术的发展,分布式模型计算时间满足生产需要。如河南省借鉴流域水文模拟系统(HEC-HMS)的思想方法,构建适用于小流域洪水预报的分布式流域水文模型系统<sup>[12-13]</sup>;基于分布式水文模型TOPKAPI<sup>[14-17]</sup>的欧洲洪水预报系统(EFFORTS)已成为意大利防汛部门的主要业务系统。基于分布式模型的洪水预报精度也在不断提高,TOPKAPI模型在2012年浙江钱塘江大水中的准确预报就是一个成功的应用实例。

分布式模型构建的一般流程包括空间信息处理、分布式水文模拟、模型输入和模型输出四个模块。分布式水文模型通常有三种建模思路:一是利用DEM生成数字流域,在每个子流域上应用现有的概念性集总模型来推求径流,再进行汇流演算(地貌单位线法等),最后求得出口断面流量,这类模型也称松散性耦合型分布式水文模型,如SCN+GIS(美国)、半分布式新安江模型(中国)、SWAT(美国)、SLURP(英国)等模型。二是基于DEM推求地形空间变化信息,利用地形信息(如地形指数)模拟水文相应的特性,并利用统计方法求得出口断面流量,这类模型如TOPMODEL(变动产流面积的概念性水文模型)。三是利用DEM划分流域网格单元,应用数值分析来建立相邻网格单元的时空关系,以水动力学方程模拟网格单元产汇流主要过程,这类模型也称紧密耦合型分布式水文模型或具有物理基础的全分布式水文模型,如SHE及其变形、TOPKAPI模型等。

基于分布式水文模型的中小河流洪水预报方法有两个技术途径:一是利用高精度数字高程模型(DEM)生成数字流域,包括水系、流向、子流域单元、汇流拓扑关系等,在每个子流域上应用产流模型(如蓄满产流、



超渗产流等)来推求径流,再利用汇流模型(如等流时线、马斯京根等)进行汇流演算,最后求得每个子流域(或网格)出口断面的洪水预报数据。二是利用基于网格的分布式水文物理模型。以 TOPKAPI 模型为例,其降雨输入由雨量站网或雷达测雨提供。模型集产汇流计算于一体,由数字高程模型自动生成每个格网中水滴流达流域出口断面的汇流路径,沿着流水网,模型通过三个结构上相似的非线性水库方程来描述每个格网内降雨-径流过程中的不同的水文水力学过程。模型中大多数参数由地形、地貌、土壤类型和土地利用等资料确定,只有少数参数通过率定求得。

#### 4 分布式水文模型在新安江上游屯溪流域洪水预报应用案例

本研究以新安江上游屯溪流域为例,应用基于网格的分布式水文模型 TOPKAPI 进行中小河流洪水模拟研究。模型计算需要两方面的资料,分别为:流域地理信息资料,包括数字高程、土壤、土地利用、植被类型等;水文气象资料,包括降水、气温(或蒸发)和流量实测资料。

##### 4.1 流域概况

屯溪位于安徽省黄山市,在钱塘江流域内,位于新安江上游,流域面积为 2 670km<sup>2</sup>,是新安江水库重要的入库站。钱塘江流域临近东南沿海,位于亚热带季风气候区,年平均气温在 17℃。屯溪流域年平均降水量 1 600mm,降水年内和年际分配极不均匀。屯溪流域内共设有 11 个雨量遥测站,其测站分布如图 2 所示。

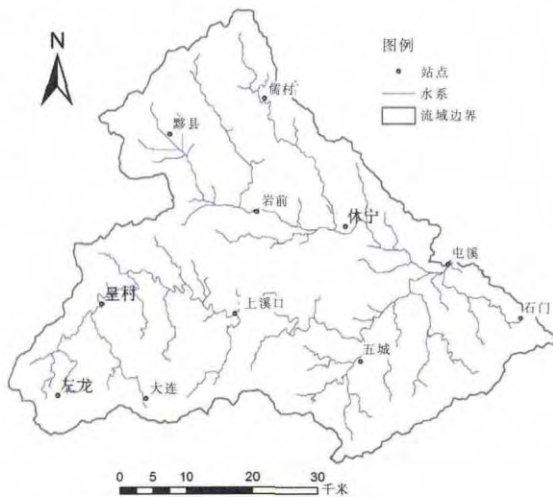


图2 屯溪流域水系和雨量站网分布示意图

Fig.2 The streams and rain gauges in Tunxi river basin

##### 4.2 资料情况及其预处理

本研究所用的地形资料是从 1:250 000 的全国数字高程数据中提取的。土壤分类源于国际粮农组织和国际教科文组织(FAO-UNESCO)的全球土壤分类,原始地图的比例尺为 1:5 000 000,其数字地图(地球坐标 5 分网格)及土壤的物理参数由 FAO 提供。土地利用图来源于美国联邦地质调查局(USGS)的全球土地利用数据库 2.0 版([http://edcdaac.usgs.gov/glcc/global\\_int.html](http://edcdaac.usgs.gov/glcc/global_int.html))。该数据的精度为 1km 网格。基于 USGS 的标准分类,水文模型中把土地利用归为 24 种,分别为城市用地、庄稼和草干旱地、灌木、稀疏大草原、宽叶林、针叶林、混和林、水体、湿地、苔原或冻土地带等。植被的分布和季节变化用逐月的植物叶面指数(LAI)来表示。而叶面指数则从全球逐月的 NDVI 数据资料来估计。

借助于 MapWindow 地理信息系统软件提取屯溪流域的 1km 尺度上的数字高程、FAO 土壤分类和 USGS 土地利用分类资料,利用 DEM 模拟生成流域水系。

##### 4.3 中小河流洪水模拟计算与结果分析

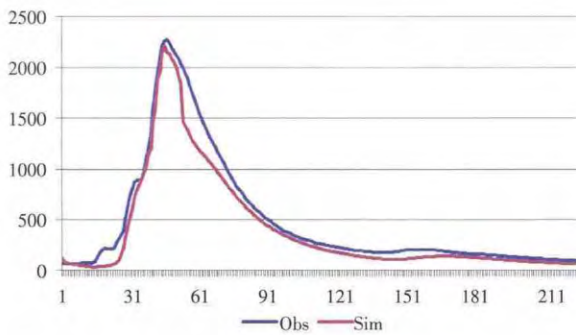
根据研究流域内的测站分布情况,选用 11 个雨量遥测站和屯溪水文站 1989~1997 年汛期(4~10 月)的资料进行 TOPKAPI 模型的参数率定,利用 1998~2003 年的汛期资料对模型进行验证,时间步长为 1h,网格尺度为 500m。本文采用加权平均法计算网格内雨量。由于屯溪流域内无气温观测站,流域内各网格的温度值是采用 ISD 方法数据内插来实现的。

从模拟的结果看, TOPKAPI 模型在屯溪流域洪水模拟的率定期和验证期确定性系数平均值分别为 0.83 和 0.83, 15 场次洪水模拟合格率为 100%。洪峰相对误差合格率为 100%, 径流深相对误差合格率为 93.3%。

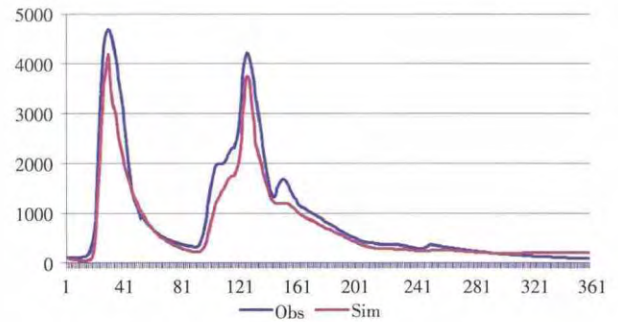
基于 TOPKAPI 模型的屯溪水文站洪水模拟和实测流量过程对比参见图 3。由图 3 可见, TOPKAPI 模型对屯溪流域的水文响应是及时的, 模型模拟预报结果中洪水起涨点与实测洪水起涨点吻合很好, 同时峰现时间基本一致, 基本满足中小河流洪水预警预报的实际需要。

#### 5 结语

近年来,受气候变化影响,我国中小河流洪水灾害十分严重,已引起各级政府和防汛部门的高度重视、社会的广泛关注。中小河流洪水预报是中小河流防洪减灾的重要的非工程措施之一,各级水文部门要像防汛部门重视山洪灾害防御那样,重视中小河流洪水监测预报预警工作。



(a) 洪水场次 1989061517  
(a) The flood event of June 15, 1986



(b) 洪水场次 1993062912  
(b) The flood event of June 29, 1993

图3 屯溪站2场洪水计算与实测过程比较图

Fig.3 Comparison between simulation of measurements of two flood events at the Tunxi station

水文监测系统建设项目的目标是通过提高中小河流水文信息的采集、传输、处理水平和洪水预报能力,确保中小河流发生洪水时能及时预警,为我国中小河流防洪提供及时、准确的决策依据。因此,中小河流洪水预报的首要任务是预警预报,其次是为防洪调度服务的河系洪水预报。

现阶段中小河流洪水预报大多数采用传统经验预报方法,还不能为各级政府和防汛部门提供及时准确的预警预报信息,难以满足中小河流防洪对水文信息的需求。在中小河流水文监测项目建设中,应在充分调查分析流域产汇流特性,结合观测资料条件的基础上,选择适宜(实用、适用)的中小河流洪水预报模型和方法编制预报方案和研发预报系统。

分布式水文模型能客观地反映气候和下垫面因子的空间分布不均匀性对流域降雨径流形成的影响,真实地模拟现实世界的流域降雨径流形成的物理过程。随着一系列理论和技术的进一步完善,分布式水文模型在洪水预报及其他(滑坡、气候变化影响、开发预案、水资源管理)等领域将得到越来越广泛的应用。

#### 参考文献:

- [1] 国家防汛抗旱总指挥部, 中华人民共和国水利部水文局. 中国水旱灾害公报 2010 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011. (State Flood Control and Drought Relief Headquarter, Bureau of Hydrology, MW.R. Report of flood and drought disaster in China, 2010 [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2011. (in Chinese))
- [2] 谈戈, 夏军, 李新. 无资料地区水文预报研究的方法与出路[J]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 192-196. (TAN Ge, XIA Jun, LI Xin. Hydrological prediction in ungauged basins [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(2): 192-196. (in Chinese))
- [3] World Meteorological Organization (WMO). Flash flood forecasting, operational hydrology report No.18, (WMO-No. 577) [R]. Geneva,

Switzerland, 1981.

- [4] World Meteorological Organization (WMO). Guide to hydrological practices (WMO-No. 168) [R]. Geneva, Switzerland, 1994.
- [5] 刘光文. 水文分析计算 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1989. (LIU Guangwen. Hydrologic Analysis and Computation [M]. Beijing: China WaterPower Press, 1989. (in Chinese))
- [6] 全国山洪灾害防治规划领导小组办公室. 山洪灾害临界雨量分析计算细则[Z]. 2003. (State Flash Floods Disaster Prevention Planning Office. Calculation rules of the critical rainfall of flash floods[Z]. 2003. (in Chinese))
- [7] 李中平, 张明波. 全国山洪灾害防治规划降雨区划研究 [J]. 水资源研究, 2005, 26(2): 32-34. (LI Zhongping, ZHANG Mingbo. Study on national precipitation area delineation of mountainous flood disaster prevention planning [J]. Water Resources Research, 2005, 26(2): 32-34. (in Chinese))
- [8] 刘志雨, 杨大文, 胡健伟. 基于动态临界雨量的山洪预警预报技术及其应用[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46(3): 317-322. (LIU Zhiyu, YANG Dawen, HU Jianwei. Dynamic critical rainfall-based torrential flood early warning for medium-small rivers [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2010, 46(3): 317-322. (in Chinese))
- [9] 梁家志, 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. (LIANG Jiazhi, LIU Zhiyu. Study on Flash Floods Monitoring and Warning Technique in Medium-small Rivers. [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese))
- [10] 刘志雨. 山洪预警预报技术研究与应用 [J]. 中国防汛抗旱, 2012, 22(2): 41-45. (LIU Zhiyu. Study and application of flash floods warning and prediction [J]. China Flood and Drought Management, 2012, 22(2): 41-45. (in Chinese))
- [11] 水利部水文局, 长江水利委员会水文局. 水文情报预报技术手册 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010. (Bureau of Hydrology, MWR, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. Hand Book of Hydrological Information and Forecast[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2011. (in Chinese))
- [12] USACE. HEC-HMS Hydrologic Modeling System User's Manual[M].

Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2001.

[13] 郭良, 唐学哲, 孔凡哲. 基于分布式水文模型的山洪灾害预警预报系统研究及其应用 [J]. 中国水利, 2007,(14):23-41. (GUO Liang, TANG Xuezhe, Kong Fanzhe. Study and application of flash flood warnin system based on distributed hydrological model [J]. China Water Resources, 2007,(14):23-41. (in Chinese))

[14] Liu, Z., Martina, M. and Todini, E. Flood forecasting using a fully distributed model: application to the upper Xixian catchment[J]. Hydrology and Earth System Sciences (HESS), 2005,9(4):347-361.

[15] 陶新,刘志雨,颜亦琪,等. TOPKAPI 模型在伊河流域的应用研究[J]. 人民黄河, 2009,(3):105-107. (TAO Xin, LIU Zhiyu, YAN Yiqi. Application of TOPKAPI model in Yihe river basin [J]. Yellow River, 2009,(3):105-107. (in Chinese))

[16] 刘志雨,谢正辉. TOPKAPI 模型的改进及其在淮河流域洪水模拟中的应用研究[J]. 水文, 2003,23(6):1-7. (LIU Zhiyu, XIE Zhenghui. Further Development of the TOPKAPI model and its application to the Huaihe river basin for flood simulation [J]. Journal of China Hydrology, 2003,23(6):1-7. (in Chinese))

[17] 刘志雨. 基于 GIS 的分布式托普卡匹水文模型在洪水预报中的应用[J]. 水利学报, 2004,(5):1-8. (LIU Zhiyu. Application of GIS-based TOPKAPI model in flood forecast [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004,(5):1-8. (in Chinese))

### Flood Forecasting for Small- and Medium-sized Rivers Based on Distributed Hydrological Modeling

LIU Zhiyu<sup>1,2</sup>, HOU Aizhong<sup>1</sup>, WANG Xiuqing<sup>2</sup>

(1. *Bureau of Hydrology, Ministry of Water Resources of China, Beijing 100053, China*;  
2. *Hydrology and Water Resources College, Hohai University, Nanjing 210098, China*)

**Abstract:** Flash floods in small- and medium-sized rivers mostly located in ungauged or data-shortage mountainous areas in China are featured by sudden happening, less concentration time, short forecasting lead-time and wide distribution. The primary purpose and task of flash flood forecasting for small- and medium-sized rivers is for early warning, therefore priority should be given to automatic forecasting, with an aim to realizing timely early warning to avoid loss of life and to reduce disaster losses. This paper analyzed the characteristics and difficulties of small- and medium-sized rivers flood forecasting, put forward the thinking of small- and medium-sized rivers flood forecasting as well as practical forecasting models and methods. A flash flood forecasting approach based on distributed hydrological model was proposed in this study and applied in flood forecasting and early warning in Tunxi river basin on the upstream of the Xin'anjiang River, hoping to provide a research reference for the on-going national project of development of flash flood forecasting and early warning system. The research shows that the distributed hydrological modeling is an effective way to flood forecasting for small and medium-sized Rivers with shortage of data, and the flood forecasting technology based on distributed hydrological model can meet the practical requirements of automatic flood forecasting and early warning for small- and medium-sized rivers.

**Key words:** small- and medium-sized rivers; flood forecasting; distributed hydrologic model; early warning



(上接第 60 页)

### Comparative Study on Different Rainfall Erosivity Models for Bailongjiang River Basin

TIAN Liming<sup>1</sup>, SUN Shuang<sup>1</sup>, WANG Gang<sup>2</sup>, ZHANG Peng<sup>1</sup>, MA Jinzhu<sup>1</sup>

(1. *Research School of Arid Environment & Climate Change, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*;  
2. *Lanzhou Meteorology Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730020, China*)

**Abstract:** Rainfall erosivity is one of the key parameters for soil erosion, sediment yield and water quality modeling, and has grown in importance for environmental modeling of climate change. Based on daily precipitation data from the 5 meteorological stations the annual rainfall erosivity was calculated with the 8 models and the difference between the models were analyzed. The results that the maximum deviation is Model H and its error is 76.2%, the minimum deviation is Model C and its error is 2.1%. The relative amplitude of Model C is closest to the average, which indicates Model C is more suitable for the study area than other models. Monthly rainfall erosivity models are superior to the daily and annual models in the Bailongjiang River Basin. Annual mean erosive rainfall of annual precipitation in Diebu, Dangchang, Zhouqu, Wudu and Wenxian is 46.1%, 44.8%, 43.6%, 46.0% and 34.5%, respectively. And the relationship between annual rainfall and annual mean rainfall erosivity is highly correlated, fitting power function. Simultaneously, the correlation coefficient of each meteorological station is more than 0.98.

**Key words:** rainfall erosivity model; Bailongjiang River Basin; soil erosion; annual rainfall