

# 暴雨洪涝预报研究的若干进展

崔春光 彭涛 殷志远 沈铁元  
(中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

**摘要:** 暴雨洪涝灾害一直是威胁人类生存和发展的最严重的自然灾害之一。论文首先从经验模型, 集总概念模型以及分布式模型等几个方面介绍了实时洪水预报技术与现状, 然后从雷达估算降水(QPE)以及模式预报降水(QPF)2个方面回顾了现代气象技术对水文预报技术的推动, 就目前的应用情况来看, 数值天气预报模式与流域水文模型在时间空间分辨率存在差异是制约水文气象耦合的一个主要因素。接着, 对中国气象局武汉暴雨研究所近年来在水文气象方面的工作做了一个简要的介绍。其中主要包括水文气象模型的研发与应用, 水文气象耦合关键技术及预报试验, 数值模式尺度下移方法初探, 流域实时水文气象预报系统等。最后, 论述认为进一步加强水文过程的机理研究, 加强分布式水文模型与地理信息系统的耦合研究, 加强与气象模型耦合的技术研究, 加强并开展水文集合预报研究等四个方面显得尤为重要。

**关键词:** 暴雨洪涝, 洪水预报, 水文气象耦合

## 引言

面对全球不断发生的严重洪水灾害, 人们发现尽管不断增加对防洪减灾的投入, 但根治洪水灾害的梦想仍无法实现。随着人类社会经济的不断发展, 洪水灾害所造成的经济损失仍与日俱增。20世纪50年代以来长江流域(包括江淮地区)的历次大水(如1954, 1969, 1975, 1991, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2003, 2007, 2010年)都是由致洪暴雨造成的, 给国家造成巨大损失。据统计我国每年因洪灾造成的直接经济损失达数百亿元<sup>[1]</sup>。2010年7月中旬, 长江汉江上游普降暴雨, 长江、汉江两大洪峰几乎同步到达湖北境内, 境内5大湖泊、1125座水库水位全线突破汛限水位, 4000多条山丘河溪暴发山洪, 7条主要中小河流全线超设防等等, 这些再次给我们敲响了警钟。

据不完全统计, 我国约有水库8.6万座, 每年汛期防汛形势紧张, 许多流域、水库、湖泊等迫切需求用技术含量较高的水文气象模式来开展水文实时预报与防汛决策服务, 提高防御洪水能力。在现代防洪减灾的理念下, 防洪减灾措施有工程措施和非工程措施两种方式。为了抵御洪水灾害, 人们采取了一系列防治和减轻灾害的措施, 然而经过多年防洪减灾实践表明, 尽管我们建立了牢固的防御工程, 非工程性措施的洪水预测能力的进一步提高则不仅可以充分地利用防洪工程, 而且可以大大降低洪水给人民生命财产带来的损失。为此中央2011年1号文件特指出: “强化水文气象和水利科技支撑, 加强基础研究和技术研发, 力争在水利重点领域、关键环节和核心

技术上实现新突破, 获得一批具有重大实用价值的研究成果。”

近三十年来我国水文气象学者在如何提高洪水预报准确率和延长预见期方面做出了艰辛的努力, 也取得了大量研究成果, 但终难有突破性进展。其原因是什么, 现实条件下的研究工作如何开展, 都是值得思索和探索的。水文气象研究中许多问题有待研究和回答, 诸如: QPF(定量降水预报)、QPE(定量降水估算)引入到水文模型对洪水预报准确率的贡献如何、多大? 水文预报模型对QPF的时空分辨率有什么样的要求? 对其预报准确率有何要求? 如何把QPF和新的测雨技术引入水文模型才能使洪水预报预见期延长、准确率提高? 为此开展暴雨洪涝预报研究具有重要的理论和实践价值。

## 1 国内外研究现状

洪水预报技术的研究是一个跨学科的交叉研究领域, 早在30多年前, 陈金荣等<sup>[2]</sup>从长江流域防洪的丰富实践中, 对水文气象预报已作了精辟而深刻的论述, 指出气象预报同水文预报的结合为防洪和水库调度等工作带来巨大的优越性和必要性, 是水文预报发展的必然趋势。文中阐述的基本思想在水文气象预报技术已有许多新的发展和进步的今天, 仍然具有指导意义。水文气象综合预报是建立在现有的气象预报和水文预报理论和技术基础之上的, 主要有2个方面的内容: 首先是实时洪水预报方法, 包括流域产汇流和河道洪水预报; 其次是研究能满足洪水预报特殊要求的定量降水预报技术, 并建立起定量降水预报和洪水预报有机结合的方式。自20世纪50年代起, 我国丰满水库、丹江口水库、汉江上游安康水电站等应用水文气象预报取得了不少成功的经验。1981年7月长江上游特大洪水预报, 汉江1983年10月特大洪水预报等都是水文和气象预报相结合的典型实例<sup>[2]</sup>。在此从以上

收稿日期: 2011年4月20日; 修回日期: 2011年6月21日  
第一作者: 崔春光(1964—), Email:cgcu@whhr.com.cn  
资助信息: 公益性行业(气象)专项(GYHY200806002, GYHY200906019), 中国气象局武汉暴雨研究所科研业务项目(1103)

两个方面围绕“暴雨洪涝预报”这一核心对国内外相关研究进展进行简要概述。

### 1.1 实时洪水预报方法

在长江流域水文气象预报的实践中，现已有了一套行之有效的洪水预报方法。在流域产汇流方面，主要使用降雨径流经验相关图、单位线法；河道洪水预报方面主要是上下游相应关系及马斯京根河道流量演算等方法。为了进一步提高洪水预报的精度，洪水预报需要借助一定的水文模型来完成，下面对国内外的水文模型在洪水预报中的应用进行归纳总结。

#### 1.1.1 经验模型（黑箱模型）

黑箱（系统）模型将所研究的流域或区间视作一种动力系统，利用输入（一般指降雨量或上游干支流来水）与输出（一般指流域控制断面流量）资料，建立某种数学关系；然后就可由新的输入推测输出。这种模型只关心模拟的精度，而不考虑输入—输出之间的物理因果关系。系统模型有线性和非线性，单输入单输出，多输入单输出，多输入多输出等多种类型。其中具备代表性的模型有：简单线性模型（SLM）、线性扰动模型（LPM）、约束线性系统模型（CLS）、线性可变增益因子模型（VGFLM）、Volterra函数模型、多输入简单线性模型（MISLM）、多输入线性扰动模型（MILPM）、神经网络模型（ANN）等。

#### 1.1.2 集总概念模型（Lumped Model）

集总概念性模型是以水文现象的物理概念作为基础进行模拟，它所利用的是一些简单的物理概念和经验关系，如下渗曲线、蒸发公式或有物理意义的结构单元，如线性水库、线性河段等组成一个系统来近似地描述水流在流域的运动状态。概念性模型对这些物理现象进行合理概化，具有一定的物理基础，因此，在近几年里发展很快，在实际应用中得到了大量的使用。很多流域水文模型都属于概念性水文模型，如由Craford和Linsley提出的斯坦福模型，营原正己提出的水箱模型（Tank），美国天气局Sitten提出的API模型，Bernash提出的萨克门托模型，爱尔兰国立大学工程水文系研制的SMAR模型，国内由赵人俊教授提出的新安江模型，意大利Todini提出的Arno模型等<sup>[3, 4]</sup>。这些模型目前仍然是主流的洪水预报模型，在一定时期内还会继续发挥作用。

随着人们对流域水文过程研究的不断深入，集总型洪水预报模型的不足日益明显，主要表现在以下几个方面<sup>[3, 4]</sup>：①集总式水文模型在整个流域内的许多环节上主要采用概念性元素的模拟或经验函数关系的描述。这样的模拟往往只涉及现象的表面而不涉及现

象的本质或物理机制。②用最优化方法确定模型参数对实测降雨径流的依赖性很大。模型参数只能反映模拟值与实测值的拟和程度，而不能揭示参数的物理意义。③模型输入的空间分散性和不均匀性。上述的这些不足，主要原因是不能有效处理流域地表空间信息。但是，从20世纪90年代中期以来，随着卫星遥感、数字雷达测雨技术以GIS技术的完善和高速发展并进入科技领域，分布式水文模型作为一类新的流域水文模型得到了快速发展。

#### 1.1.3 分布式水文模型（Distributed Model）

考虑流域内水文要素空间分布差异的分布式流域水文模型有望尽可能真实地模拟流域产汇流过程的空间变化。与传统的集总式水文模型相比，分布式模型具有的最显著的优点可总结为以下几点：①具有物理机理，能描述水文循环的时空变化过程；②其分布式结构容易与GCM（Global Climate Model）嵌套，研究自然和气候变化对水文循环的影响；③由于建立在DEM之上，所以能及时地模拟人类活动和下垫面因素变化对流域水文循环过程的影响<sup>[3, 4]</sup>。

国外分布式流域水文模型的研究，可以认为始于Freeze和Harlan于1969年写的一篇题为《一个具有物理基础的数值模拟的水文响应模型的蓝图》的文章，该文章提出了分布式水文物理模型的基本概念和框架<sup>[5]</sup>。然而世界上第一个典型的分布式水文模型SHE（System Hydrologic European）直到1986年才正式发表，该模型主要的水文过程利用质量、能量和动量守恒的偏微分方程的差分形式来描述，同时也采用了一些独立试验研究得来的经验关系，综合考虑降水、蒸发、地表径流、土壤对地下水的补给、地下水的流动等水文过程<sup>[6, 7]</sup>。伴随着SHE的问世，分布式水文模型的研究得到了长足的发展，目前分布式水文模型的理论和技术已趋于成熟，国外已提出了若干个有代表性的分布式水文模型，如英国Morris等提出的IHDM模型，美国农业部农业研发中心（ARS）开发的SWAT模型，Colosimo等人提出的TOPMODEL模型，Kouwen等人提出的WATERFLOOD模型，Wigmosta等人提出的DHSVM模型等<sup>[3, 4, 6, 7]</sup>。

国内分布式水文模型的研究起步较晚。20世纪90年代以来，随着GIS软件的迅速发展，在国家自然科学基金的支持下，我国一些学者进行了探索性的研究工作。尽管起步较晚，但也取得了较大的进展<sup>[8-12]</sup>：郭生练等建立了一个基于DEM的分布式流域水文物理模型，用来模拟小流域的降雨径流时空变化过程。任立良和刘新仁在数字高程模型（DEM）的基础上，进行子流域集水单元勾画、河网生成、河网与子流域编

码及河网结构拓扑关系建立，然后在每一集水单元上建立数字产流模型，再根据河网结构拓扑关系建立数字河网汇流模型（马斯京根法），从而建成数字水文模型。最近，有许多研究把分布式模型推广应用到大流域：郑红星等应用大尺度分布式水文模型SVAT & HYCY对黄河的主要支流洛河卢氏以上流域进行实例研究，模拟流域蒸散发的空间分布特征以及径流的形成过程。杨大文等通过模拟黄河流域1980年代10年间的水文循环过程，讨论其在大流域中的适用性和辅助水资源规划及管理的可行性。

不过笔者认为我国DHM缺乏有国际影响力的模型、缺乏系统性研究、模型可移植性（或通用性）有待加强、应用性研究也相对滞后、水文模型与天气模式的耦合研究较少。

## 1.2 气象技术发展对洪水预报的推动

随着气象现代化建设不断推进、发展，综合气象观测能力明显增强，数值预报预测能力逐步完善，定量降水估算和预报水平逐年提高，截至2008年，我国24小时晴雨预报准确率已达到85.6%。为此现代气象业务技术的发展给洪水预警预报提供了发展机遇，如何利用这些新技术提高洪水预报水平成为国外水文气象学家研究的热点。

### 1.2.1 雷达监测降水在水文中的运用

确切地掌握降雨量的空间分布，是使用分布式水文模型的重要先决条件。传统的定点测雨的雨量站是难以给出复杂多变的降雨空间分布的。测雨雷达则不同，它可以直接测得降雨的空间分布，提供流域或区域的面雨量，并具有实时跟踪暴雨中心走向和暴雨空间变化的能力。雷达估算降水有时空分辨率高的优点，可以比较客观地反映降水量相对大小的分布趋势<sup>[13]</sup>。

为了将雷达测雨资料用于洪水预报预警，国外学者首先展开了相关研究。英国国家河流管理局组织了天气雷达资料在洪水预报中应用的实验研究工作并对此进行了评估，认为雷达与雨量计结合估算降水对水文预报各预见期表现平均较好，稳定地达到或超过雨量计实测雨量的结果，尤其对小区域的改进更为突出。英国水文研究所很多研究成果都已在洪水报警业务部门应用：主要有水文雷达实验（HYREX）；雷达—雨量计校正方法及精度估计；用于洪水预报模型的流域雷达降水预报方法；应用雷达降水资料的格点分布式洪水预报模型；河流预报系统（RFFS）和水文雷达系统（HYRAD）软件开发等。HYRAD集成了雷达—雨量计估算面雨量和流域雷达降水预报的研究成果，用实时雷达和雨量计资料

计算流域面雨量并进行未来两小时的流域面平均雨量预报，将计算和预报数据以时间序列的形式存入RFFS数据库用于河流预报。RFFS与HYRAD共同组成了实时降水与河流预报系统，目前已经在泰晤士流域等几个洪水报警中心进行日常业务应用<sup>[13, 14]</sup>。

美国在大规模建设雷达网的同时，美国天气局水文降水分析项目HRAP也开始实施，HRAP的目的是将雨量站探测资料，卫星云图资料与雷达测雨资料相结合，产生用于水文预报的最优降水估算场。目前美国天气雷达估算降雨并用于水文预报的工作达到了全面业务化水平<sup>[9, 15]</sup>。

欧洲洪水预报系统（EFFS）2003年以来正在升级，改进后可耦合雷达降水估算和有限区域数值天气预报模式，建立暴雨预报和洪水预报耦合的一体化模型，并结合地面观测降水、雷达降水估算以及卫星云图降水估算技术，提供流域点面降水的最佳估计。从1999年开始到2004年完成的欧洲联盟的COST-717计划，其中有一部分是评价、验证雷达信息在水文模型模拟中的作用，其最终目标是将雷达测量降水和水文模型以及数值天气预报（Numerical Weather Prediction，即NWP）模式有机地融合在一起，提高水文预报精度。

此外，国内有关学者也开始了定量降水估算和洪水预报耦合技术的研究探讨<sup>[16-24]</sup>：刘黎平等成功应用天气雷达估算降水技术来进行水文预报，提高了预报的精度；刘晓阳等利用雷达估测降水对史灌河流域进行了径流模拟；任立良等利用雷达降雨资料对水文过程进行了模拟研究；李致家等对从实时洪水预报的角度出发，将雷达遥感数据与水文模型进行耦合对淮河流域史灌河流域蒋家集站进行洪水预报；程明虎、姚燕飞通过分组优化Z-I关系对佛子岭流域面雨量进行了估算，并结合TOPMODEL模型对流域径流进行了模拟研究，取得了比较好的效果。许继军等利用宜昌天气雷达资料结合分布式水文模型对三峡库区清港河小流域和香溪小流域进行了水文预报，结果表明：利用雷达估测降雨，与分布式水文模型相匹配，较好地发挥了二者在表现降雨空间分布变化方面的优势，能够有效提高洪水预报精度。

### 1.2.2 模式预报降水（QPF）在水文中应用

预见期内的降水量直接影响着洪水预报的精度，预见期愈长，预见期内的降雨对预报值影响愈大，为此预见期内的降雨与洪水预报耦合技术也逐步受到了广大水文和气象科技工作者的关注。目前随着数值预报理论与方法的飞跃发展，数值预报现正成为暴雨预报实现定点、定时和定量的科学手段，为水文

模型预见期降水的预报提供了强有力的支撑。

目前定量降水预报(QPF)应用于水文预报模型是被水文气象学界普遍认同的发展方向之一,也是目前研究的热点难点。对于预见期降雨与洪水预报耦合的研究,国外相关学者以及国家气象中心、长江委、黄河委以及武汉大学已开展过相关试验和调研<sup>[25-31]</sup>:美国国家气象中心(NMC)开发了一系列洪水量化预报法。数据输出生成三个系列量化预报产品,即预报超前时间为0~3h、1~20h和6h~10d预报。预报在美国内陆600多个地方对给定的超过某一特定值的降水,进行概率确定,并用于突发洪水预警,预报更新频率快至对突发洪水每10min一报,干流洪水预报每天报2~4次;杨文发等考虑预见期内的降水预报信息,采用降水预报与洪水预报耦合的方法,对1998年汛期发生在长江上游三峡区间的一次暴雨洪水过程进行了预报试验;王庆斋等利用小浪底一花园口之间的暴雨洪水过程开展了洪水预报耦合技术研究;李超群等基于短期定量降水预报产品开展了清江隔河岩洪水预报的研究;张俊等耦合MM5气象模式和VIC分布式水文模型构建了汉江流域水文气象耦合模型,并对丹江口以上流域开展模拟试验;包红军等以淮河息县流域为试验流域,以CMC, CMA, ECWMF, UKMO, NCEP五个气象中心的TIGGE降水以及地面雨量计观测降水驱动新安江水文模型,在2007年7月的息县流域超警洪水预报中进行试验研究。

研究表明可显著提高洪水预报精度,但是数值天气预报模式与流域水文模型在时间空间分辨率存在的差异制约了天气预报模式预报结果应用的进一步发展,可喜的是这方面的研究工作目前已开始得到了相关学者的重视:刘勇、邹松兵<sup>[32]</sup>充分利用降水量空间统计分析的结果,通过在模型中引入坡度、坡向变量,对祁连山中东部地区降水量空间变化模式进行尺度下移,得到了该地区具有多尺度特性的高空间分辨率降水量的分析模型;此外,数值模式的自嵌套技术以及多模式的互嵌套技术开始用于提高模式空间分辨率<sup>[33, 34]</sup>。

### 1.3 存在问题分析

制约水文气象耦合的主要原因包括:

(1) 数值天气预报模式与流域水文模型在时间空间分辨率存在差异,特别是在空间分辨率上甚至是量级的差别;同时数值天气预报模式的准确率有待提高。目前来说QPF在预报准确率与分辨率上还难以满足水文模式的需要,这一问题需要很长时间来逐步解决,现阶段我们不能坐等QPF的发展,要寻找其他的

缓解或逐步解决矛盾的途径。

(2) 水文模式中考虑预见期降雨不够,水文气象耦合技术研究必须得到加强。QPF应用于水文预报模型是被水文气象学界普遍认同的发展方向之一,然而,我国水文预报业务规范中是没有涉及到的,就是说业务预报中是比较难以考虑预见期降雨的。国内能检索到的相关研究文献还是很少的。在国内外气候模式研究中都涉及到地气耦合技术,但在短期水文气象预报中水文气象耦合技术相关的研究很少。

(3) 雷达测雨的精度、降水处理自动化程度及其与水文模型的接口等问题有待进一步加强。

(4) 分布式水文模型的研究成为热点,但由于水文过程的复杂性和不确定性,其中许多物理过程、数学处理方法以及数据不足等问题有待更深入的研究与探讨。我国分布式水文模型缺乏国际有影响力的模型,缺乏系统性建设,模型可移植性有待加强,应用性研究也相对滞后,水文模型与大气模式的耦合研究较少。

## 2 暴雨所水文气象研究工作简介

现代气象业务技术的发展给洪水预警预报提供了发展机遇,为了拓展暴雨信息应用领域,暴雨所自2004年以来采用气象与水文学交叉的方式,联合水利部门和相关院校,开展了实时暴雨洪水预报方法研究和实时预报应用系统研制。近年来,承担了科技部公益项目、国家自然科学基金、公益性行业专项、湖北省攻关计划等研究课题,在相关课题的支持下从水文气象模型的研发与应用,水文气象耦合关键技术及预报试验<sup>[35-38]</sup>,数值模式尺度下移方法<sup>[39]</sup>,流域实时水文气象预报系统研发等几个方面做了一些有益的探索(图1—图3),并在汛期试验中取得了较好的服务效果。



图1 分布式水文模型的研发

## 3 展望

暴雨洪涝灾害一直是威胁人类生存和发展的最严重的自然灾害之一。然而当前客观条件正在悄然发生一些变化,如新一代天气雷达网的建成、雷达卫星估算降雨技术的发展脚步加快、定量降雨预报准确率的

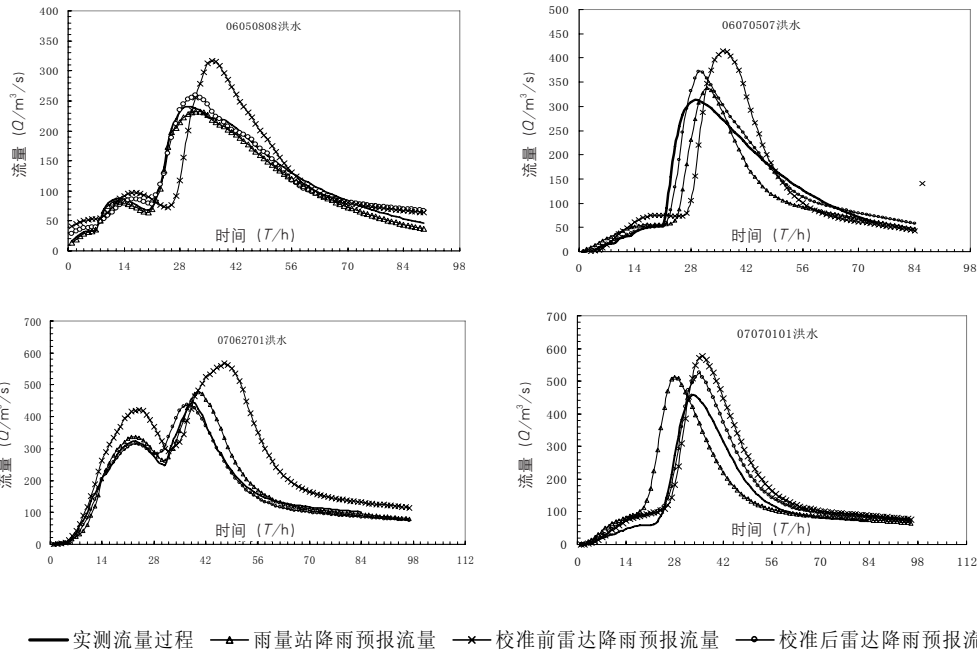


图2 定量降水估算 (QPE) 对洪水预报影响试验

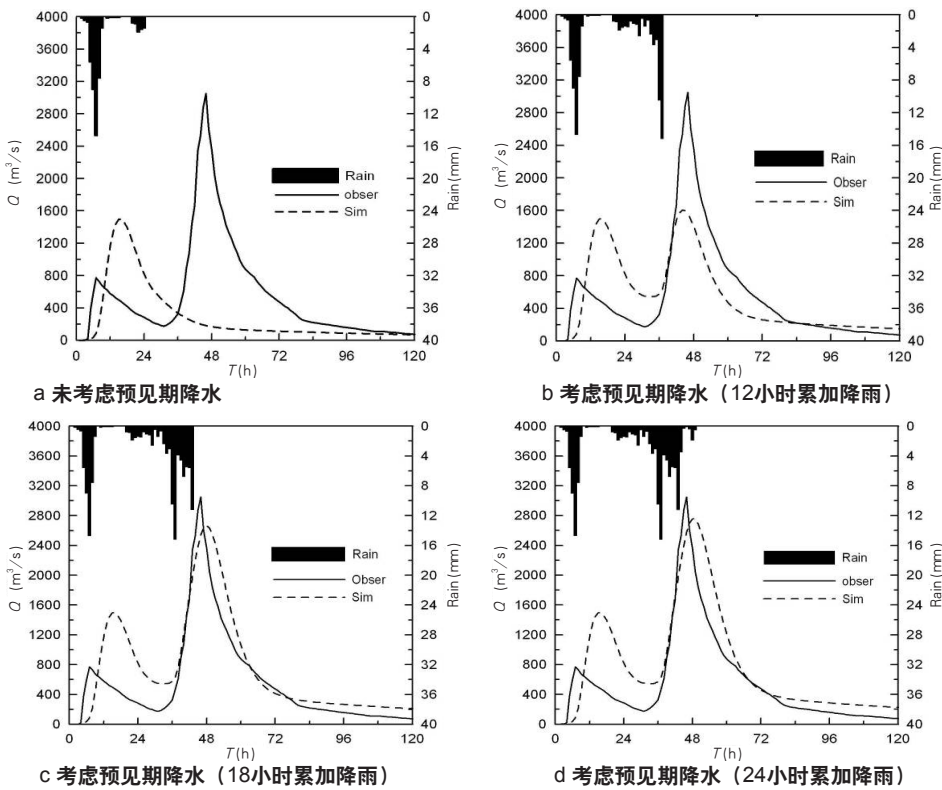


图3 定量降水预报 (QPF) 对洪水预报影响试验

不断提高、水文模型构建技术的不断创新、地理信息技术的逐渐成熟、网络通讯与计算机技术的飞速发展等等,都给我国洪水预警预报技术发展提供了一个很坚实的基础和发展机遇,但是同时也面临着问题与挑战。笔者认为,为了进一步推动我国暴雨洪涝预报技术的发展与应用,需在以下几个方面着重开展研究:

(1) 加强水文过程的机理研究,通过增大观测

密度,改善观测手段,力求从物理学的角度和深度,认识流域水文过程,解决水文过程中的非线性问题和空间变异性问题;

(2) 关注地理信息系统的发展,加强分布式水文模型与地理信息系统的耦合研究,同时关注遥感技术的发展,提高遥感数据在分布式水文模型的应用水平;

(3) 加强与气象模型耦合的技术研究,充分利用雷达探测技术以及中尺度暴雨预报技术来描述水文输入资料(降雨等)的时空变异性,并通过开展降尺度方法研究,逐步缩小气象与水文之间在时空尺度差异性问

题;

(4) 暴雨洪涝是一个复杂的动态过程,其预报的不确定性客观存在,为此加强并开展水文集合预报的研究显得尤为重要。

#### 参考文献

- [1] 国家科委全国重大自然灾害综合研究组. 中国重大自然灾害及减灾对策(总论). 北京: 科学出版社, 1994.
- [2] 陈金荣, 罗伯昆. 对水文气象预报的认识和实践. 人民长江, 1982, (6).
- [3] 彭涛, 张利平, 沈铁元, 等. 现代水文气象预报技术研究进展. 人民

- 黄河, 2010, 32(9): 29-32.
- [4] 郭大英. 基于DEM的分布式水文模型的研究与应用. 大连理工大学硕士学位论文. 2005.
- [5] Freeze R A, Hanlan R L. Blueprint for a physical-based, digitally simulated, hydrologic response model. *Journal of Hydrology*, 1969, 9: 237-258.
- [6] 贾仰文, 王浩, 倪广恒, 等. 分布式流域水文模型原理与实践. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [7] 芮孝芳, 黄国如. 分布式水文模型现状与未来. *水利水电科技进展*, 2004, 24(2).
- [8] 郭生练, 熊立华, 杨井, 等. 基于DEM的分布式流域水文物理模型. *武汉水利电力大学学报*, 2000, 33(6): 1-5.
- [9] 熊立华, 郭生练. 分布式流域水文模型. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- [10] 任立良, 刘新仁. 流域数字水文模型研究. *河海大学学报(自然科学版)*, 2000, 28(4): 1-7.
- [11] 郑红星, 刘昌明, 王中根, 等. 黄河典型流域分布式水文过程模拟. *地理研究*, 2004, 23(4): 447-454.
- [12] 杨大文, 李羽中, 倪广恒, 等. 分布式水文模型在黄河流域的应用. *地理研究*, 2004, 29(1): 144-154.
- [13] 杨扬, 张建云, 戚建国, 等. 雷达测雨及其在水文应用中的回顾及展望. *水科学进展*, 2003, 11(1): 92-98.
- [14] “欧洲洪水预测系统”计划简介. *水利电力科技*, 2003, 29(1): 43.
- [15] 黄保国, 夏冰. 美国洪水预报及预警系统发展概况. *中国水利*, 2003, (5): 56-57.
- [16] 刘黎平, 钱永甫, 王致君. 双线偏振雷达在水文预报领域的应用——实时水文预报系统的研制. *高原气象*, 1996, 15(4): 508-514.
- [17] 刘晓阳, 毛节泰, 李纪人. 雷达联合雨量计估测降水模拟水库入库流量. *水利学报*, 2002, (4): 51-55.
- [18] 刘晓阳, 毛节泰, 等. 雷达估测降水模拟史灌河流域径流. *北京大学学报(S)*, 2002, 38(3): 342-349.
- [19] 任立良, 李春红, 王美荣. Application of radar-measured rain data in hydrological processes modeling during intensified observation period of HUBEX. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, 20(2): 205-212.
- [20] Chen Y B, Hu J Q, Yu J. A flash flood forecast model for the Three Gorges Basin using GIS and remote sensing data. //In: *Weather Radar Information and Distributed Hydrological Modeling*. (Proceedings of symposium HS03 held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003). IAHS Publ. No. 282, 2003, 282-287.
- [21] 李致家, 刘金涛, 等. 雷达估测降雨与水文模型的耦合在洪水预报中的应用. *河海大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(6): 601-606.
- [22] 李致家, 刘金涛, 葛文忠. 雷达估测降雨与水文模型的耦合在洪水预报中的应用. *河海大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(6): 601-606.
- [23] 姚燕飞. Z-I关系对雷达测量流域面雨量和径流模拟影响的研究. 中国气象科学研究院硕士学位论文. 2007.
- [24] 许继军, 杨大文, 蔡治国. 分布式水文模型结合雷达测雨用于三峡区间的洪水预报. *长江科学院院报*, 2007, 24(6): 42-48.
- [25] 《长江防洪系统实时调度研究》编辑委员会. *长江防洪系统实时调度研究*. 北京: 中国水利电力出版社, 1997.
- [26] 杨文发, 等. 降水预报与洪水预报耦合应用初探. *水资源调查*, 2003, 24(1): 38-40.
- [27] 王庆斋, 等. 黄河小浪花暴雨洪水预报耦合技术研究. *人民黄河*, 2003, 25(2): 17-19.
- [28] 李超群, 郭生练, 张洪刚. 基于短期定量降水预报的隔河岩洪水预报研究. *水电能源科学*, 2006, 24(4): 31-35.
- [29] 张俊, 郭生练, 陈华, 等. 与MM5气象模式耦合的VIC 分布式水文模型构建. *人民长江*, 2008, 39(8): 38-42.
- [30] Bao H J, Zhao L N, He Y. Coupling ensemble weather predictions based on TIGGE database with Grid-Xinnanjiang model for flood forecast. *Advances in Geosciences*, 2011, 29(6): 61-67.
- [31] 郭靖, 郭生练, 张俊, 等. 汉江流域未来降水径流预测分析研究. *水文*, 2009, 5: 18-22.
- [32] 刘勇, 邹松兵. 祁连山地区高分辨率气温降水量分布模型. *兰州大学学报(s)*, 2006, 42(1): 7-12.
- [33] 沈愈. EOF迭代降尺度方案及其在华东梅汛期降水预测中的应用. *高原气象*, 2008, 27: 52-63.
- [34] 邓伟涛. 利用CAM-RegCM嵌套模式预测我国夏季降水异常. 南京信息工程大学博士学位论文. 2008.
- [35] Peng T, Song X Y, Shen T Y, Yin Z Y, et al. The application of radar quantitative precipitation estimation in flood forecasting during flood season. 第四届黄河国际论坛文集, 2010, 1: 309-315.
- [36] 彭涛, 宋星原, 殷志远, 等. 雷达定量估算降水在水文模式汛期洪水预报中的应用试验. *气象*, 2010, 36(12): 50-55.
- [37] 崔春光, 彭涛, 沈铁元, 等. 定量降水预报与水文模型耦合的中小流域汛期洪水预报试验. *气象*, 2010, 36(12): 56-61.
- [38] 彭涛, 李俊, 殷志远, 等. 基于集合降水预报产品的汛期洪水预报试验. *暴雨灾害*, 2010, 29(3): 274-278.
- [39] 殷志远, 赖安伟, 公颖, 等. 气象水文耦合中将尺度方法研究进展. *暴雨灾害*, 2010, 29(1): 89-95.

## Research Progress on Storm and Flood Forecasting

Cui Chunguang, Peng Tao, Yin Zhiyuan, Shen Tiejuan

(Wuhan Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, Wuhan 430074)

**Abstract:** Storm flood disasters have always been a threat which is one of the worst natural disasters to human survival and development. Firstly, the development of real-time flood forecasting technique from experience model, lumped conceptual model and distributed mode were introduced. Secondly, the modern meteorological technology propelling the hydrological forecasting technology from both quantitative precipitation estimation (QPE) and quantitative precipitation forecasting (QPF) were reviewed. This paper shows that the mismatch time and space resolution between numerical weather prediction models and hydrological models are the major factors of restricting hydrological and meteorological coupling. Thirdly, some hydro-meteorological work done by Wuhan Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration in recent years were briefly introduced. The main work includes hydro-meteorological model research and application, the experiment of key technologies in hydrological and meteorological coupling, preliminary study of numerical model downscaling, real-time watershed hydro-meteorological forecasting system. Lastly, this paper holds that four kinds of work are particularly important. They are: strengthening the mechanism of hydrological process, strengthening the study of the distributed hydrological model and geographic information system coupling, strengthening the research on hydrological and meteorological coupling and strengthening the research into hydrological ensemble forecasting.

**Key words:** storm flood, flood forecasting, hydrological and meteorological coupling