

彭涛,位承志,叶金桃,等. 汉江丹江口流域水文气象预报系统. 应用气象学报,2014,25(1):112-119.

# 汉江丹江口流域水文气象预报系统

彭涛<sup>1)\*</sup> 位承志<sup>2)</sup> 叶金桃<sup>1)</sup> 王俊超<sup>1)</sup> 殷志远<sup>1)</sup> 沈铁元<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(中国气象局武汉暴雨研究所暴雨监测预警湖北省重点实验室,武汉 430074)

<sup>2)</sup>(金华祖谟信息技术有限公司,金华 321000)

## 摘 要

汉江丹江口流域水文气象预报系统在 GIS 技术的支持下,以水文气象监测网、定量降水估算、定量降水预报、洪水预报技术为基础,通过雷达估算降水技术、中尺度数值模式预报技术获取高时空分辨率的降水信息输入水文模型来进行水文气象预报。以 Web 形式为基础的汉江丹江口流域水文气象预报系统平台在 2010 年 7 月以及 2011 年 9 月汉江丹江口两次洪水过程中及时、准确地显示了流域实况降水、预报降水,准确地预报了洪水入库过程。目前系统已成功移植到三峡区间、清江水布垭、淮河王家坝、漳河水库等流域开展汛期试验与服务,取得了较好的应用效果。

**关键词:** 汉江丹江口流域; 定量降水估算; 定量降水预报; 水文预报

## 引 言

暴雨引发的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,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>[1-3]</sup>。20 世纪 50 年代以来长江流域(包括江淮地区)的历次洪水都给国家造成巨大损失。据不完全统计,我国约有水库 8.6 万座,许多流域、水库、湖泊等迫切需要高水平的水文气象模式用来开展水文预报与防汛决策服务,提高防御洪水能力。当前综合气象观测能力的明显增强,数值预报预测能力的逐步完善,定量降水估算和预报水平逐年提高,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,给我国洪水预警预报技术发展奠定了坚实的基础和发展机遇。汉江丹江口流域水文气象预报系统就是为了适应这样的发展以及需求而研制的。

汉江丹江口流域水文气象预报系统在 GIS 技术的支持下,以水文气象监测网、定量降水估算(QPE)、定量降水预报(QPF)、洪水预报技术为基

础,充分利用现有的降水信息,在同一平台上实现水文气象的预报,为提高流域暴雨洪涝灾害的预报能力和延长洪涝灾害的预见期提供了有力支持。

## 1 系统结构与 设计

本系统的研究思路是基于气象监测、预报、洪水预报以及 GIS 技术,构建流域水文气象预报系统平台,目标是在系统建成后可以在网络平台上浏览、查询流域水文气象监测、预报信息。系统总体逻辑结构采用 B/C/S 3 层结构,即通过 C/S 系统完成流域降水监测、雷达定量降水估算、中尺度数值模式降水预报、洪水预报、水文水情等信息的处理,通过 B/S 系统完成水文气象监测预报产品的显示发布。系统的开发遵循实用、先进、扩展、开放、标准、规范的原则<sup>[4-6]</sup>。

本系统服务器端运行在 Microsoft Window XP 操作系统上,系统的网页平台制作工具选用 Asp. Net 4.0,编程采用 C# 语言,网页数据库系统平台采用 Microsoft SQL Server,通过 ODBC 与后台数据库连接,Web 服务器采用 Microsoft IIS 5.0,客户

2013-03-22 收到,2013-11-11 收到再改稿。

资助项目:国家自然科学基金项目(41205086),公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206028,GYHY201306056,GYHY201306059)

\* email: pt\_mail@sohu.com

端使用 IE 浏览器来访问系统。

### 1.1 系统流程

系统在 C/S 层面首先通过处理雨量站监测、雷达探测、模式预报等数据信息,获取流域实况以及预报降水信息,并制作相应的图形产品文件,然后将其

转化为水文模型所需的文件格式输入水文模型进行流域水文预报,最后将这些预报信息、图形产品文件在 B/S 层面上通过 Web 网页进行显示发布,系统结构及数据流程见图 1。

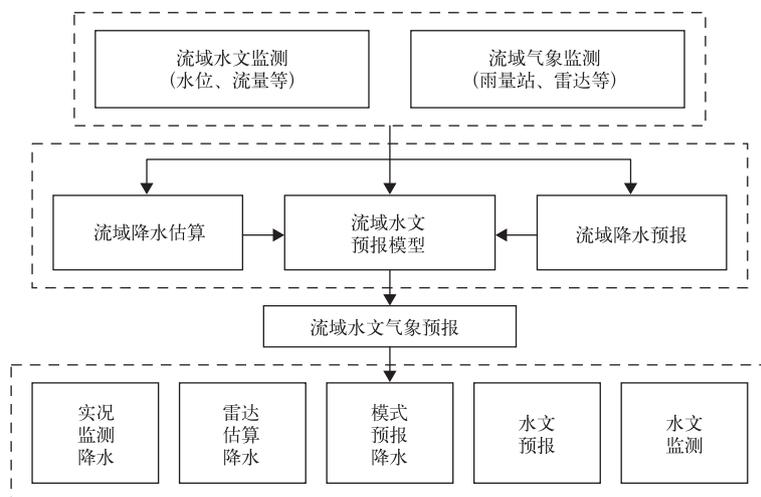


图 1 系统结构及数据流程

Fig. 1 The system structure and data flow

### 1.2 用户及流域数据管理

用户管理是否合理在一定程度上决定了系统能否安全运行,也决定了系统中数据的安全性和保密性。系统通过用户数据管理实施对用户信息的管理以及用户权限赋予。对于用户权限管理,首先通过对用户登录所使用的用户名和密码调用数据库服务器对其进行验证,判断用户的类型(超级管理员和普通管理员),然后授予不同的操作权限,系统的超级管理员可对普通管理员用户进行权限的维护。

系统以流域为研究对象,针对不同流域系统通过流域数据管理对流域增减、属性等进行操作管理,通过管理员登录来实现流域的增减,并完成流域名称、代码、描述等属性信息的输入,然后存入数据库服务器中相应的流域管理属性列表中,以供调用。

### 1.3 系统功能设计

本系统通过集成雨量站监测、雷达探测、中尺度模式预报以及洪水预报等技术,研发流域水文气象预报系统平台,其平台建设目标是用户可通过 Internet 浏览、查询该集成系统中流域水文气象监测、预报信息。针对这一目标,系统平台设计包括如下

功能。

- 流域概况:该功能模块主要是通过文字描述、图形显示等方式为浏览用户提供流域地理、地形地貌、水文气象等基本信息。

- 流域实况降水:该功能模块主要利用国家自动气象站、区域加密站、水文站等监测资料实现流域逐小时、12 h 和 24 h 降水实况显示。

- 流域雷达估算降水:该功能模块主要利用短临预报系统 SWAN 中的雷达估算降水产品结合流域地理边界实现流域雷达估算降水显示。

- 流域预报降水:该功能模块主要利用数值模式(AREM 模式、T639 模式、WRF 模式等)降水预报结果结合流域地理边界实现流域 1 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h 时段预报降水显示。

- 流域水文预报:该功能模块主要利用自动雨量站、雷达估算降水、中尺度暴雨预报等技术获取高时空分辨率的降水监测预报信息输入水文模型来进行水文预报,并将流域水文预报信息列表成数据文件,保存在数据库中,最终以 Web 形式形成图形产品来显示。

• 流域水文监测:该功能模块主要包括流量和  
水位信息显示,并实现日数查询的控制。

## 2 系统开发与实现

### 2.1 流域基础地理信息的预处理

流域是一个天然的集水区域,是一个从源头到  
河口自成体系的水文单元,是一个以水流为基础、以  
河流为主线、以分水岭为边界的特殊区域。流域不

同,其分水岭、面积、水系发育、形状、方向等基本属  
性也不同。以流域为研究对象的水文气象预报系统  
的首要任务就是对流域边界(即分水岭)、水系等基  
本信息进行提取及处理。基于 DEM 数据,首先利用  
GIS 技术对试验流域边界进行界定,在此基础上  
获取流域水系信息,并结合实际水系进行校正,然后  
对流域内的地名、水域等进行界定,最后完成流域基  
本信息的数字化工作(图 2)。

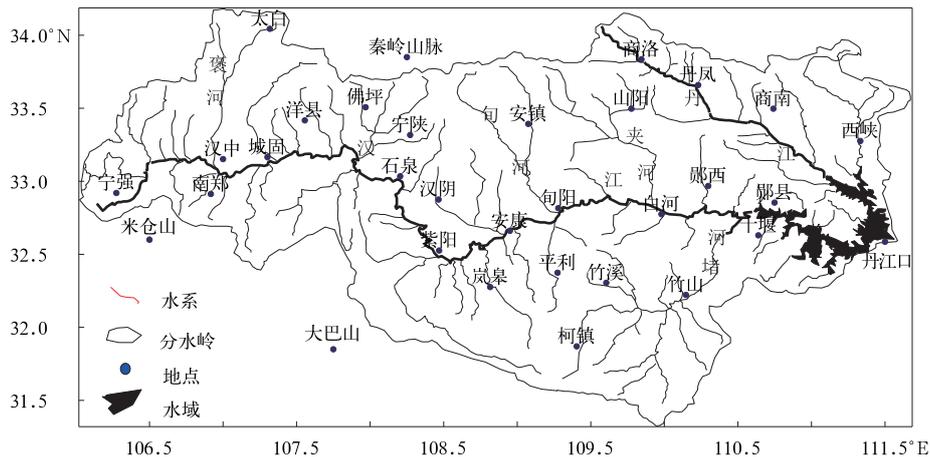


图 2 汉江丹江口流域概要图

Fig. 2 The sketch map of the Danjiangkou Basins in Hanjiang

### 2.2 流域降水信息产品的制作与转化

降水是流域最主要的要素之一,对某一特定的  
流域而言,流域是以分水岭为边界的闭合区域。为  
此,如何获取流域这一闭合区域内的雨量站监测、雷  
达估算、数值模式预报等一系列降水信息,并将其转  
化为水文模型的输入对以水文气象预报为核心内容  
的系统研发显得尤为重要。在实际研发过程中,按  
如下步骤提取降水信息产品及设计降水信息产品与  
水文模型接口:①熟悉了解定量降水估算、定量降水  
预报、实况监测等降水信息要素产品的时次、存储方  
式、数据结构等;②系统采用引射线裁剪算法<sup>[7]</sup>,结  
合流域边界利用 VC 或 VB 语言设计开发程序将在  
流域边界外的降水信息去除,保留流域内降水信息,  
自动获取试验流域范围内的定量降水估算、定量降  
水预报、实况监测等一系列降水信息;③系统采用  
Kriging 插值算法<sup>[8-9]</sup>,利用 VC 或 VB 语言设计结  
合 Surfer8.0 图形系统作为开发工具,自动生成流

域 1 h, 12 h, 24 h 实况监测; 1 h 雷达估算降水产品;  
1 h, 3 h, 6 h, 12 h, 24 h 时段预报等降水场的图形产  
品,并存放服务器端指定流域目录以便 Web 服务器  
调用;④系统根据所选择水文模型的降水信息输入  
方式,首先将降水实况和定量降水估算等降水信息  
进行转化,然后将定量降水预报的预报降水信息在  
人工订正的基础上进行转化,最后将雨量站监测、雷  
达估算的实况降水以及订正后的数值预报降水相结  
合,形成从过去到未来一段时间的连续降水场序列,  
为流域水文预报模型提供降水输入。

### 2.3 流域水文预报模型构建

流域所处地理位置不同,其气候特征也存在明  
显差异,流域水文预报模型构建首先需要根据流域  
区域地理气候特征,选择并确定合适的水文模型(例  
如三水源新安江模型适用于湿润半湿润地区),其次  
需结合流域已知的大气降水量和蒸发量以及河流、  
水库的历史水文气象资料等对流域水文模型参数进

行率定,获取合适的流域水文参数<sup>[10-12]</sup>,最后建立可业务运行的流域水文模型。

根据试验流域的气候特点,选择在国内外水文预报工作中得到较好应用的新安江模型作为流域水文预报模型<sup>[12-17]</sup>。该模型应用了蓄满产流与马斯京根汇流概念,有分单元、分水源、分汇流阶段的特点,结构简单,参数较少,各参数具有明确的物理意义,计算精度较高。模型通过将全流域分成多个单元流域,在每一个单元流域内,降水经过蒸散发的消耗后,以蓄满产流的方式经产流量水源划分后对各单元流域进行产汇流计算,得出单元流域的出口流量过程;再进行出口以下的河道洪水演算,将各个单元流域的出流过程相加,就求得了流域的总出流过程。

在预报中,系统在服务器端启动水文模型调用利用由自动雨量站、雷达估算降水、中尺度模式预报等降水信息获取的高时空分辨率的降水场,输入新安江水文模型来进行水文预报,形成文件,并存放服务器端指定流域目录下以供数据库调用。

水文监测(水位、流量等)是流域防灾减灾必不可少的重要环节。系统中水文监测数据来源于水利部水情网,系统基于 VS 平台开发程序自动获取水文数据存放在指定的流域目录以供数据库调用。

#### 2.4 Web 显示平台的实现

该显示平台主要采用 Asp. Net(C#)4.0 开发, Asp. Net 作为一种先进的 Web 应用程序开发技术,响应时间短,具有更强的安全机制<sup>[18]</sup>。

- 流域概况显示:利用 Asp. Net 数据库控件,根据所选取的流域名称,在数据库服务器中流域属性列表中查找该流域的属性信息,对其进行显示,简要介绍该流域的地理、暴雨、洪水等概况。

- 流域实况、雷达估算、预报降水图形产品显示:首先通过在显示平台上建立流域实况、雷达估算、预报降水显示控件,在后台(即 C/S 层面)将调用或处理的内容写入控件;然后在前台(即 B/S 层面)构造 js 函数,通过在前台或后台调用 js 函数,激发 click 事件,访问后台(即 C/S 层面)服务器中的图形产品文件,从而将其在前台显示。

- 水文预报及监测产品显示:Asp. Net 擅长服务器端的 Web 编程,操作后台数据库能力强,但用 Asp 本身并不支持图表功能,只能借助第三方控件进行开

发(如 VB 语言的 MSChart 控件、微软的 .Net Framework,Flash)来解决这个问题。系统开发过程中首先通过 Asp. Net 调用数据库中的水文预报及监测数据,然后利用 Flash 控件对其显示。

### 3 系统预报试验与应用

2010 年汛期以来,该系统在汉江丹江口、清江水布垭、淮河王家坝、漳河水库等流域开展水文气象预报试验,并取得了初步的应用效果。下面就汉江丹江口水库流域预报试验情况进行简要介绍和分析。

#### 3.1 汉江 2010 年 7 月中旬大洪水

2010 年 7 月中旬以来,汉江流域发生了大范围强降水,此次降水具有过程雨量大、持续时间长、局地降水强度强的特点。以安康、郧县和南阳为例,7 月 16 日—7 月 20 日降水量分别为 467.4 mm,269.4 mm,349.2 mm,导致汉江上游来水过多,洪水来势迅猛,防汛形势十分严重。

2010 年 7 月 15 日开始,利用该系统进行预报试验,每日两次对未来 72 h 流域水情做出预报,分别给出了汉江丹江口控制流域逐小时雷达估算降水、逐小时实况监测降水、实况降水 24 h 累积降水量及 60 h 模式预报降水(图 3)。

根据降水监测与模式预报降水信息,模块后台启动水文模型对丹江口水库流域实施水文预报,7 月 18 日 03:00(北京时,下同)水文预报结果(图 4a)显示,洪峰( $21442 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )将于 7 月 19 日 19:00 到达丹江口水库,根据所获取的水文实况监测信息(图 4b),限于所收集的资料仅能对 19 日 08:00 实况和预报进行对比(实况为  $19400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ;预报为  $20130 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ),结果显示系统预报较为准确。

#### 3.2 汉江 2011 年 9 月秋汛大洪水

2011 年 9 月 17—18 日,汉江上游出现连续性的强降水过程,其中汉中 7 月 18 日 24 h 降水超过 250 mm,流域汛期严重。7 月 17 日 15:00 开始,运用该系统进行预报试验,分别给出了汉江丹江口控制流域逐小时雷达估算降水、逐小时实况监测降水、24 h 实况降水以及 60 h 模式预报降水(图 5),并每日两次对未来 72 h 流域水情做出预报。9 月 18 日 03:00 水文预报结果(图 6a)显示,洪峰( $29640 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )将于 9 月 18 日 23:00 到达丹江口水库,9 月 19

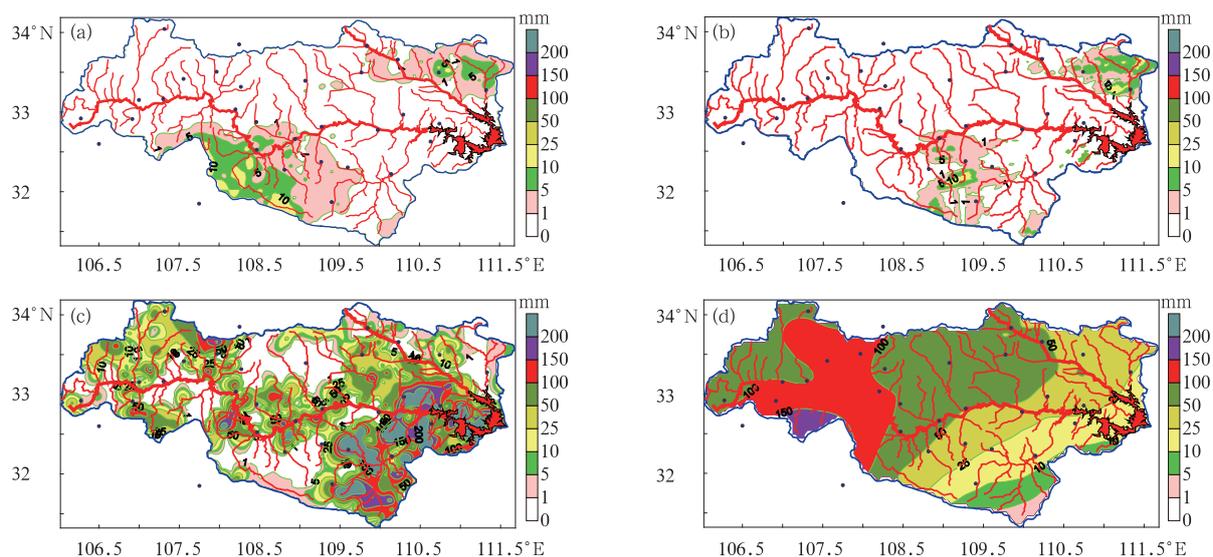


图3 2010年7月洪水过程丹江口水库流域实况和预报降水 (a)18日03:00实况小时降水量,(b)18日03:00雷达估算小时降水量,(c)17日00:00—18日00:00 24 h 实况降水,(d)18日03:00—20日15:00 60 h AREM 模式预报降水  
Fig. 3 The observed and forecasted precipitation of the Danjiangkou Basins in flood process in July 2010 (a)1-h observed precipitation at 0300 BT 18 July 2010,(b)1-h radar quantitative precipitation estimation at 0300 BT 18 July 2010,(c)24-h observed accumulated precipitation from 0000 BT 17 July to 0000 BT 18 July in 2010,(d)60-h AREM precipitation forecast from 0300 BT 18 July to 1500 BT 20 July in 2010

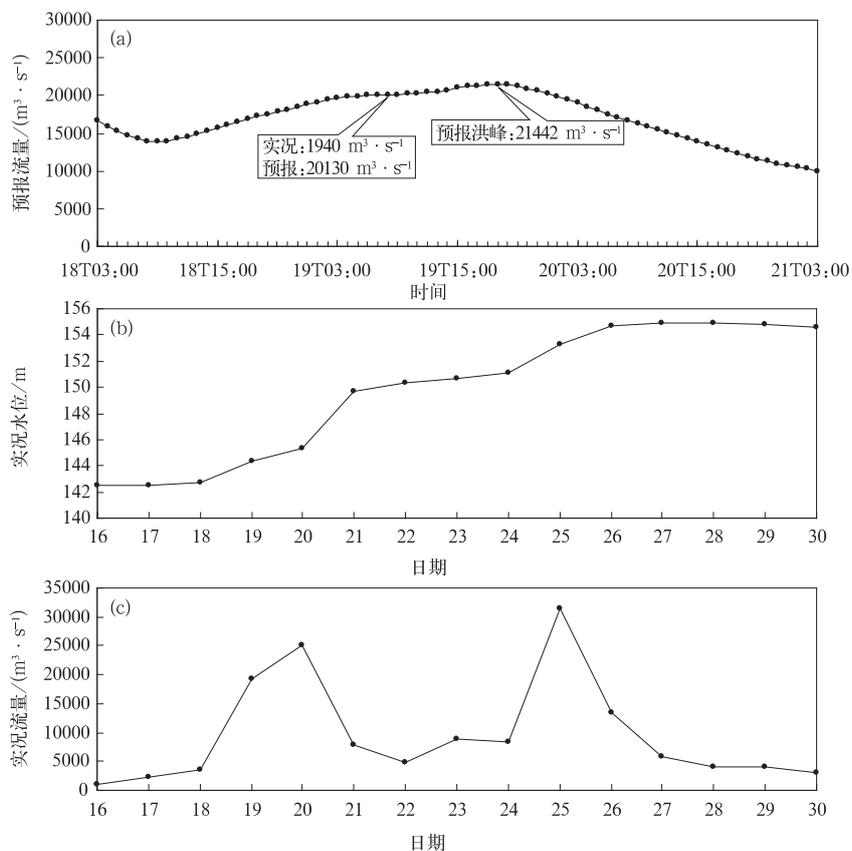


图4 2010年7月洪水过程丹江口水库流域水文预报、监测信息 (a)18日03:00—21日03:00丹江口水库入库预报流量,(b)16—30日08:00丹江口水库水位,(c)16—30日丹江口水库入库实况流量  
Fig. 4 The hydrological forecast and observation of the Danjiangkou Basins in flood process in July 2010 (a)72-h flood forecast at 0300 BT 18 July 2010,(b)water-level observation from 16 July to 30 July in 2010,(c)flow observation from 16 July to 30 July in 2010

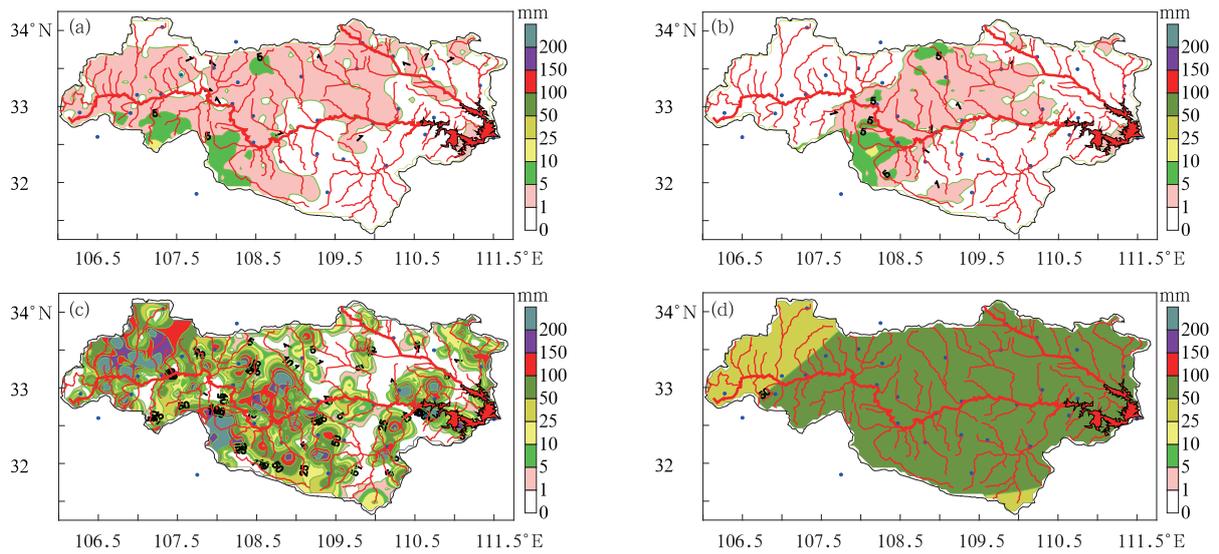


图 5 2011 年 9 月洪水过程丹江口水库流域实况和预报降水 (a)18 日 03:00 实况小时降水量,(b)18 日 03:00 雷达估算小时降水量,(c)17 日 00:00—18 日 00:00 实况降水,(d)18 日 03:00—20 日 15:00 60 h AREM 模式预报降水

Fig. 5 The observed and forecasted precipitation of the Danjiangkou Basins in flood process in Sep 2011 (a)1-h observed precipitation at 0300 BT 18 Sep 2011,(b)1-h radar quantitative precipitation estimation at 0300 BT 18 Sep 2011,(c)24-h observed accumulated precipitation from 0000 BT 17 Sep to 0000 BT 18 Sep in 2011,(d)60-h AREM precipitation forecast from 0300 BT 18 Sep to 1500 BT Sep in 2011

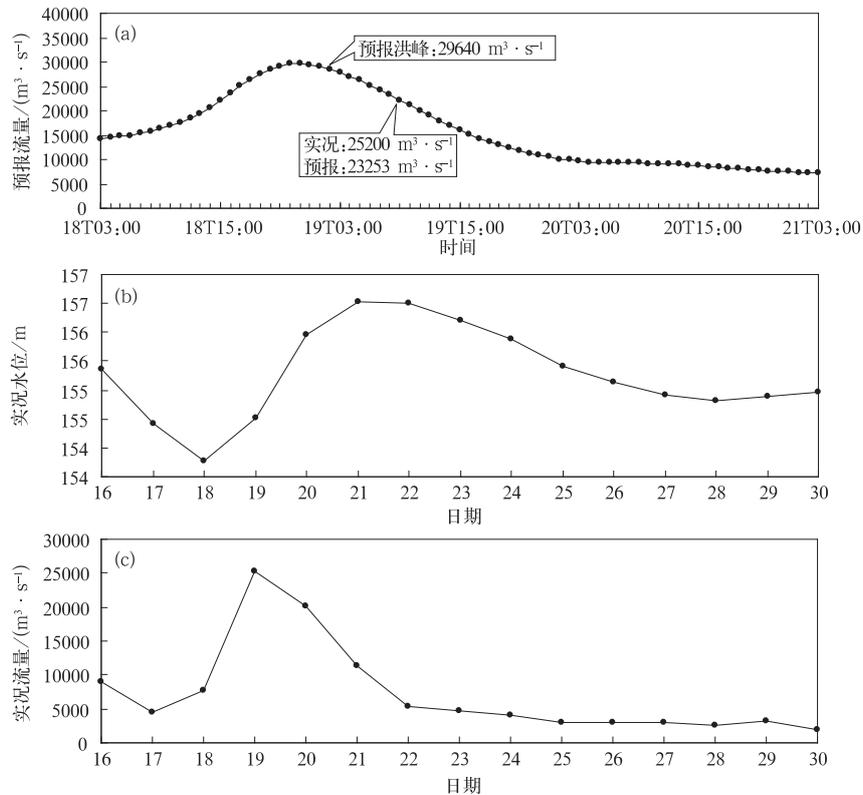


图 6 2011 年 9 月洪水过程丹江口水库水文预报、监测信息 (a)18 日 03:00—21 日 03:00 丹江口水库入库流量预报,(b)16—30 日 08:00 丹江口水库水位,(c)16—30 日丹江口水库入库实况流量

Fig. 6 The hydrological forecast and observation of the Danjiangkou Basins in flood process in Sep 2011 (a)72-h flood forecast at 0300 BT 18 Sep 2010,(b)water-level observation from 16 Sep to 30 Sep in 2011,(c)flow observation from 16 Sep to 30 Sep in 2011

日 08:00 入库流量将达到  $23253 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。丹江口水库入库流量实况显示 9 月 19 日 08:00 流量为  $25200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 系统预报的洪峰流量与实况基本一致(图 6b)。

#### 4 小 结

汉江丹江口流域水文气象预报系统开发过程中,立足于在流域洪涝预报中充分利用现代气象业务中新技术、新方法来获取实况监测、雷达估算、模式预报等多源降水信息,与水文模型结合起来开展流域水文气象预报,并通过制作流域实况、雷达估算降水、模式预报降水场以及水文实况、预报曲线等直观的图形产品,为流域防洪决策提供支持。其主要特点如下:

1) 系统在 GIS 技术的支持下,以水文气象监测网、定量降水估算、定量降水预报、洪水预报技术为基础,在同一平台上实现了流域水文气象信息的监测显示及预报。

2) 系统总体采用 B/C/S 3 层结构,在 C/S 层面完成流域降水监测、雷达定量降水估算、数值模式降水预报、洪水预报、水文水情等信息的处理,并基于 Web 在 B/S 层面完成水文气象监测预报产品的显示发布。

2010 年汛期以来,该系统在汉江丹江口、清江水布垭、淮河王家坝等流域开展水文气象预报试验,取得了较好的应用效果,但同时也发现了系统存在的问题:流域水利工程拦洪、泄洪等人工干预如何在系统中体现,大尺度的降水预报信息如何转化为水文模型所需的降水信息。

不同地区、不同时期暴雨洪涝灾害形成的条件以及人类活动存在明显差异,因此该流域水文气象预报系统,还需进一步试验并不断更新和完善。

#### 参 考 文 献

- [1] 张顺利,陶诗言. 1998 年夏季中国暴雨洪涝灾害的气象水文特征. 应用气象学报,2001,12(4):442-457.
- [2] 卞洁,李双林,何金海. 长江中下游地区洪涝灾害风险性评估. 应用气象学报,2011,22(5):604-611.
- [3] 刘建芬,张行南,唐增文,等. 中国洪水灾害危险程度空间分布研究. 河海大学学报:自然科学版,2004,6:614-617.
- [4] 张永华,肖文名,何婉文,等. 基于 ArcGIS Server 和 VML 的气象信息发布平台. 应用气象学报,2011,22(4):498-504.
- [5] 陈钻,李海胜. 新型台风海洋网络气象信息系统的设计与实现. 应用气象学报,2012,23(2):245-250.
- [6] 胡健伟,刘志雨. 中小河流域山洪预警预报系统开发设计及应用. 水文,2011,31(3):18-21.
- [7] 刘勇奎,高云,黄有群. 一个有效的多边形裁剪算法. 软件学报,2003,14(4):845-856.
- [8] 沈艳,冯明农,张洪政,等. 我国逐日降水量格点化方法. 应用气象学报,2010,21(3):279-286.
- [9] 王亚强. 等值线相关算法类库的开发与应用. 气象科技,2010,38(4):478-483.
- [10] SL25-2000. 水文情报预报规范. 北京:中华人民共和国水利部,2000:18-22.
- [11] 赵人俊. 流域水文模拟:新安江模型与陕北模型. 北京:水利电力出版社,1984.
- [12] 宋霖云,张利平,李武阶,等. 水文模型参数优选方法比较与参数敏感性分析. 水电能源科学,2011,29(4):25-28.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 殷志远,彭涛,王俊超,等. 基于 AREM 模式的贝叶斯洪水概率预报试验. 暴雨灾害,2012,31(1):59-65.
- [16] 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.
- [17] 王莉莉,陈德辉,赵琳娜. GRAPES 气象水文模式在一次洪水预报中的应用. 应用气象学报,2012,23(3):274-284.
- [18] 张正礼,王坚宁. Asp. Net 4.0 从入门到精通. 北京:清华大学出版社,2011.

## Hydrometeorology Forecast System of the Danjiangkou Basins in Hanjiang

Peng Tao<sup>1)</sup> Wei Chengzhi<sup>2)</sup> Ye Jintao<sup>1)</sup> Wang Junchao<sup>1)</sup> Yin Zhiyuan<sup>1)</sup> Shen Tiejuan<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (Hubei Key Laboratory for Heavy Rain Monitoring and Warning Research,  
Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

<sup>2)</sup> (Jinhua Zumo Information Technology Co Ltd, Jinhua 321000)

### Abstract

The modern meteorological service technology development, especially quantitative precipitation estimation and forecast technology, makes it possible to improve the hydrological meteorological forecast service. Based on real-time hydrological and meteorological monitoring, quantitative precipitation estimation (QPE), quantitative precipitation forecasting (QPF), real-time flood forecast technique, hydrometeorology forecast system of the Danjiangkou Basins in Hanjiang applies high spatial and temporal resolution rainfall data in hydrological model to carry out the real-time hydrometeorology forecast. Adopting the browser/client/server (B/C/S) three-layer structure, the rainfall monitoring, radar quantitative precipitation estimation, numerical forecast precipitation, flood forecast, hydrology and other product information are processed on client/server (C/S) system, and then the products can be displayed on the browser side. GIS technology is used to define the basin boundary and extract the river system based on the DEM data, and then to define the place and water in basin, to complete the digital work of basin basic information. Second, precipitation information, basin actual observation, radar estimation, model forecast precipitation products are processed with some clipping algorithm and basin geography information, and input into the hydrological model. Third, to construct basin hydrological forecast model based on basin geography climate characteristics, the Xinanjiang Hydrological Model is adopted to make the real time flood forecast, and the data files are stored in specified directory for database calling. Finally, the Asp. Net(C#) 4.0 is adopted to develop system display platform, including the display for basin overview, graphics products of basin actual monitoring, radar QPE, model QPF, hydrological forecast and monitor products. The completed system platform can achieve the hydrological meteorological information monitoring and forecasting. During the two flood processes in July of 2010 and September of 2011, the precipitation observed and forecasted is given and displayed timely and accurately, the flood process curve is also forecasted accurately. Nowadays, the system has been successfully transplanted to the Three Gorges, Qingjiang Shuibuya Reservoir, Huaihe Wangjiaba, the Zhanghe Basins, and has carried out flood tests and services, achieving good effects.

**Key words:** the Danjiangkou Basins in Hanjiang; QPE; QPF; hydrological forecasting