

文章编号:0559-9350(2011)05-0624-07

三峡特大流域洪水预报方案运用与分析

李春红¹, 王建平¹, 王玉华², 任立良³

(1. 国网电力科学研究院 南京南瑞集团公司, 江苏 南京 210003; 2. 三峡梯级调度通信中心, 湖北 宜昌 443000;
3. 河海大学 水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心, 江苏 南京 210098)

摘要: 三峡工程流域地质特征复杂, 暴雨中心多, 洪水组成类型多种多样, 采用单一模型难以适应各种不同情况的来水预报, 需要多模型、多方案的组合预报互为补充。基于572个遥测站点, 制作了三峡工程以上覆盖面积约39万km²的流域洪水预报方案。通过2008年汛期7场洪水的检验, 证明方案可行、满足需要。洪水预报实践经验表明: 多模型多方案组合预报、半分布式模型选用和通过相关关系确定各单元河网汇流参数以及流域分级预报、逐级检验是大型、特大型流域预报方案成功制作的关键; 同时未来降雨接入、实时校正是提高实时预报精度、增长预见期的有效手段。

关键词: 三峡水库; 洪水预报; 分级预报; 未来降雨; 实时校正

中图分类号: P333.2

文献标识码: A

三峡水库已有多个洪水预报系统投入运行, 但原有系统的预报范围一般都为寸滩、武隆-三峡坝址区间, 随着三峡水库不断蓄水, 预报的预见期明显缩短, 原有预报范围已无法满足预报要求。为了提供长时间预见期的洪水预报, 三峡梯调中心于2007年开始进行金沙江屏山-寸滩区间水情遥测系统的建设, 同时接入金沙江中下游水情自动测报系统。本文即基于所有已布设/接入的遥测站点进行三峡以上特大流域洪水预报方案的制作。

1 三峡特大流域预报范围和洪水预报框架设计

为开展三峡水库108h预见期的入库流量预报, 本次预报范围涵盖572个遥测站点。依据遥测站网现状, 三峡预报范围为金沙江龙街站至三峡坝址区间, 其中乌江支流的预报范围为乌江渡以下,

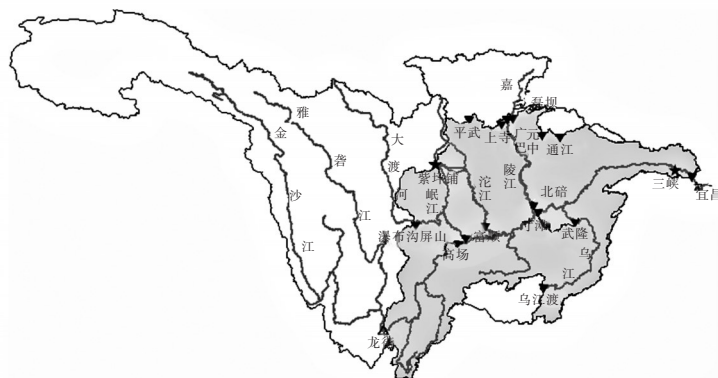


图1 三峡预报范围

收稿日期: 2009-07-15

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2008BA29B09)

作者简介: 李春红(1978-), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事水文预报研究。E-mail: lichunhong@sgepri.sgcc.com.cn

岷江、沱江和嘉陵江基本包括全流域，具体预报范围见图1灰色区域。

三峡预报覆盖范围约39万km²，预报区域内地形、水系和水文气象特征复杂多样，因此，洪水预报制作需要考虑不同类型的地形地貌、水系分布和下垫面条件，分3个层次(区间、子区间、单元)逐级进行预报方案的制作。

三峡预报设计采用了由大到小、逐步分级的方式(见表1)：(1)根据流域水系分为7个大区间，区间面积范围为2.0~7.9万km²；(2)各大区间根据水文站点分布划分为若干子区间，三峡以上共分为51个子区间；(3)子区间再根据地形河网等划分为若干单元，单元为降雨径流计算的基本单位。

表1 三峡预报区域分区概况

区间名称	区间范围	区间面积/万 km ²	子区间数
金沙江	龙街-屏山	6.2	2
岷江	瀑布沟、紫坪铺-高场	4.4	8
沱江	富顺以上	2.0	3
嘉陵江	平武、上寺、三磊坝、广元、巴中、通江-北碚	7.9	19
乌江	乌江渡-武隆	5.5	10
屏寸干流	屏山、高场、富顺、北碚-寸滩	7.3	8
三峡库区	寸滩、武隆-三峡坝址	5.5	1
总计		38.8	51

每个大区间是独立的水系/流域区间，可作为独立的预报区域，有各自的暴雨中心，但同时又是三峡入库洪水的主要组成要素；大区间按水文站网布设划分子区间，可以依据不同类型地形地貌和下垫面条件而选择不同的模型参数；子区间进行单元划分，则能够考虑降雨面分布的不均匀性和不同地点河网汇流的影响。

子区间是预报方案制作的基本单位，子区间的逐级预报形成大区间的预报方案，大区间根据水力联系的逐级演算最终形成三峡入库的预报方案。子区间由单元构成，单元划分、参数文件建立、资料整理等是预报的前期准备，在此基础上，各单元的产汇流计算、单元至子区间出口的河道汇流演算和上游子区间入流至该子区间的河道演算形成子区间完整的预报过程。子区间内预报流程见图2。

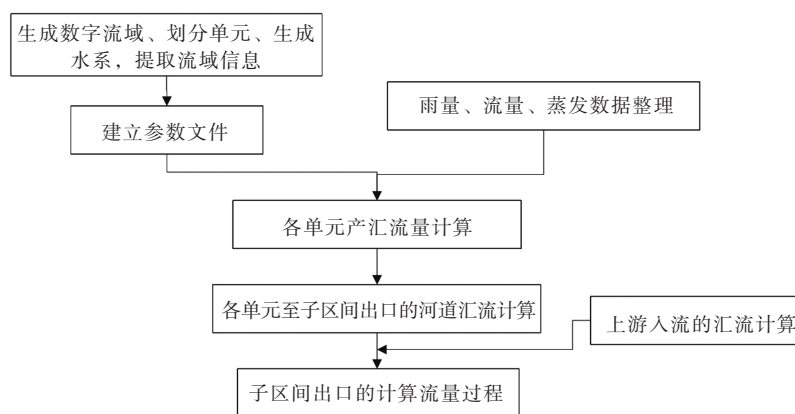


图2 子区间内预报流程

2 三峡特大流域洪水预报要点分析与对策

(1)三峡预报区域内地形、地貌特征复杂，暴雨中心多、洪水组成类型多种多样，三峡入库洪水的主要暴雨来源可分为岷江区、嘉陵江区、屏山-寸滩区间和寸滩-宜昌区间等，通常三峡入库的特大洪峰由其中一个或几个地区的特大洪水组合形成，而各区间又包含多个暴雨中心和洪水组成类型(譬如岷江包含峨眉山和青衣江暴雨区两个全国著名的暴雨中心)。针对复杂的流域特性、暴雨分布

和洪水组成,采用单一模型难以适应各种不同情况的来水预报,因此需要多模型、多方案的组合预报互为补充。本文中三峡入库洪水预报采用两种预报方案:①新安江三水源模型^[1]进行降雨径流预报、水动力学模型^[2]/马斯京根河道汇流模型进行河道演进;②API模型进行降雨径流预报,流量演算法进行河道汇流演算。

(2)由于预报范围内地形地貌和暴雨洪水特性多种多样,流域空间的变异性和水文响应特征成为预报模型必须关注的问题^[3],这正是分布、半分布式水文模型的主要优势^[4],而集总式模型则难以反映该特征。分布式模型由于对气象、降雨输入信息和空间地理信息的高精度要求,目前还主要用于试验流域,尚难大范围采用;半分布式水文模型介于集总与分布式水文模型之间,它对信息的精度要求较分布式模型低,同时又部分考虑了降雨和下垫面的空间差异,因此应用较多且效果较好。本文三峡预报方案制作在采用新安江、API降雨径流模型的基础上,采用DEDNM^[5](数字高程流域水系信息模型)提取流域信息,将单元划分、雨量处理等与模型结合,既有效减小了降雨分布不均和下垫面条件不同对预报的影响,同时保留了以往水文模型的精髓,为特大流域的高精度预报奠定了基础。图3为三峡某子区间的数字单元划分图。

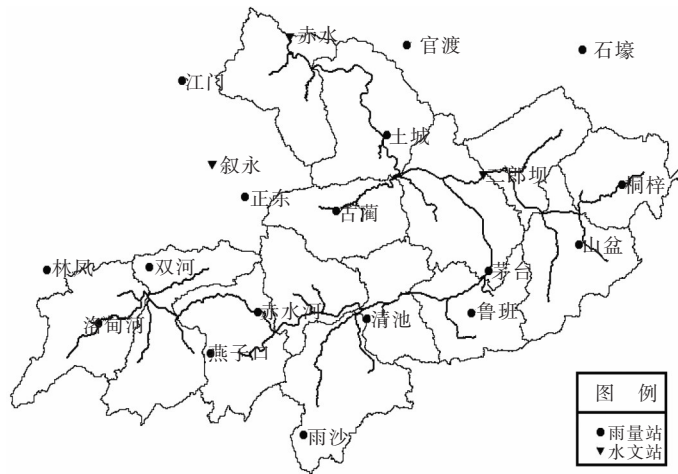


图3 三峡某子区间单元划分

(3)本文三峡预报在子区间的单元汇流计算方面与以往模型不同,各单元汇流采用了不同的模型参数,避免了以往水文模型采用单一汇流参数,无法反映面积、形状等差异对汇流演算的影响^[6]。由于单元出口位置通常无流量站控制,无法率定单元参数,因此以往水文模型在各单元采用同样的产汇流参数。实际上,汇流参数与单元的面积、形状关联很大,譬如狭长形单元的汇流时间长,峰形矮胖;扇形单元的水量集中、峰形尖瘦,如图4紫坪铺-彭山区间各单元形状差别较大,应采用不同的汇流参数。

为了解决此问题,本文首先选取若干小流域作为独立单元,采用GIS方法获取地形地貌特征参数,同时通过参数率定获取每个流域的模型参数;其次将汇流参数与流域的特性特征参数建立相关关系,并将此关系应用于各单元形状、面积差别较大的流域;最后根据流域出口断面流量拟合情况对模型参数进行适当调整。此方法在三峡40多个子区间应用效果较好。

(4)特大流域内暴雨中心多,水系复杂、洪水组成多种多样,任何一个暴雨区的预报误差都会影响最终入库的预报精度,因此预报方案制作必须做好每个子区间的预报,同时以保证入库预报精度为最终目标。三峡采用了自上游向下游方案逐级制作、逐级检验的方式进行:根据水文历史资料、地形地貌等详细分析每个暴雨中心的暴雨洪水特性、洪水历时、传播时间和对下游的影响程度等,尽可能做好每个子区间的预报方案制作与检验;除各子区间检验外,还以实时预报的方式对每个大区间(岷江区、嘉陵江区等)进行全区间预报检验,并最终进行整个三峡预报区域的全流域检验。流域内每个区间预报方案既相互独立,又互为关联,从小范围到大流域,层层检验和把关的预报方案制作方式,是保证三峡入库乃至特大流域长预见期和高精度预报的关键。

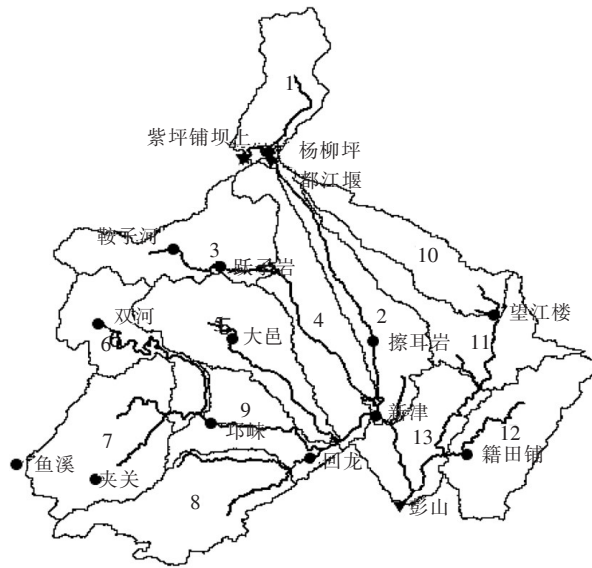


图4 紫坪铺-彭山区间单元划分

(5)对特大流域而言,实时洪水预报系统为了满足预报的实时性、精度和预见期要求,未来降雨信息显得尤为重要。单纯依靠落地雨和实时河道信息的预报,受暴雨洪水特性和流域产汇流条件限制,通常无法满足预报的预见期要求。譬如以库区附近暴雨为主的入库洪水,预见期通常只有几个小时,甚至雨落峰现、无预见期,而特大流域通常需要十几、几十甚至上百个小时的预见期预报,因此应采取一定措施增长预报的预见期。三峡水库库区短期数值天气预报系统已经运行多年,短期降雨预报具有较高的预报精度,与现有预报方案相结合可有效增长预报的预见期。

(6)实时校正是实时预报的重要组成,每个子区间的预报都存在预报误差,十几甚至几十个子区间自上而下逐级预报,必然带来误差的累积,因此要自动进行全流域的逐级校正,避免误差累积,提高预报精度;遥测系统实时的水位、流量信息是实时校正的基础,作为实时校正的一部分就是在进行预报计算时,若下游预报计算所需的上游信息已有实测数据产生,应当采用上游的实测值向下游演进;同时根据实时获取的最新信息,对预报模型的结构、参数、状态变量、输入向量或预报值进行自上而下的逐级校正,使其更符合客观实际,以提高预报精度。

3 实时预报运行情况与分析

三峡二期洪水预报系统于2008年5月投入试运行,目前已经历了一个汛期的考验,预报方案得到了成功应用,预报精度达到甲级标准,为发电、防洪提供了可靠依据。2008年5—11月三峡入库流量大于 $30\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水共有7场,洪水概况见表2。表2中的7场洪水包括寸滩上游来水为主的洪水(嘉陵江、岷江等支流在部分洪水场次中是洪水过程的重要组成部分),同时包括库区较大洪水和全流域降雨洪水,基本涵盖了三峡入库洪水的大部分地区组成方式。

在不考虑未来降雨的情况下,本文针对上述7场洪水进行108h预报,结果见表3。

由表3可知,在不考虑未来降雨的情况下,2008年三峡入库的7场洪水预报精度差别较大,部分场次洪水较长预见期能获得较高的预报精度,而有些洪水场次即使预见期较短,预报精度仍然不高。譬如20080912号洪水60h预见期的洪峰误差和108h时段内的洪量误差都小于5%,而20080705、20080812、20080829号洪水仅24h预见期的洪峰误差却超过了20%,且不同预报时段的洪量误差也都比较大。

分析发现,三峡2008年7场洪水预报精度差别较大的主要原因是由于形成入库洪水的暴雨分布不同,一般来讲,以上游来水为主的洪水预见期相对较长,暴雨中心越接近流域下游,预报的预见期越短。由表2可见,20080912号洪水主要为寸滩上游来水组成,而20080705、20080812、

表2 2008年三峡洪水统计

洪号	起止时间	洪峰流量/(m ³ /s)	洪水描述
20080705	07-01—07-15	36 500	主要为寸滩上游来水与三峡区间叠加, 区间洪峰达16 000m ³ /s。
20080723	07-20—07-29	36 600	主要为寸滩上游来水, 嘉陵江来水较大, 北碚洪峰约11 500m ³ /s。
20080812	08-08—08-22	41 500	全流域降雨所致, 嘉陵江、乌江、三峡区间都较大。
20080829	08-28—09-03	38 200	上游来水与三峡区间叠加。
20080912	09-10—09-17	38 100	主要为寸滩以上来水, 沱江、嘉陵江都偏大, 对应的控制断面洪峰分别约为5 700m ³ /s、10 000m ³ /s。
20080929	09-25—10-04	33 400	主要为寸滩以上来水, 岷江、嘉陵江较大, 对应控制断面的洪峰分别约为13 900m ³ /s、15 000m ³ /s。
20081103	10-29—11-12	34 100	基本为全流域降雨, 乌江来水较大, 武隆站洪峰超9 000m ³ /s。

表3 2008年三峡入库洪水预报精度

	洪号						
	20080705	20080723	20080812	20080829	20080912	20080929	20081103
预报时间	07-04T08:00	07-21T20:00	08-14T20:00	08-28T20:00	09-10T08:00	09-27T14:00	11-02T8:00
预见期/h	24	24	24	24	60	48	24
实测洪峰	34 500	34 500	41 000	36 000	38 000	33 300	33 000
预报洪峰	24 129	32 100	32 472	26 677	39 455	35 223	31 470
洪峰误差	-30.06	-6.96	-20.80	-25.90	3.83	5.77	-4.64
实际峰现时间	07-05T08:00	07-23T20:00	08-15T20:00	08-29T20:00	09-12T20:00	09-29T14:00	11-03T08:00
预报峰现时间	07-04T12:00	07-23T20:00	08-16T15:00	08-29T03:00	09-12T21:00	09-29T12:00	11-03T18:00
峰现时间误差/h	-20	0	19	-17	1	-2	10
实测洪量	24.95	28.15	28.47	26.55	20.40	22.43	27.44
24h 预报洪量	19.22	25.87	25.06	21.85	19.79	21.99	26.36
洪量误差	-22.96	-8.11	-11.97	-17.70	-3.00	-1.97	-3.95
实测洪量	49.01	57.83	62.95	56.07	46.35	50.01	54.99
48h 预报洪量	35.73	52.60	52.91	42.49	46.22	50.90	53.23
洪量误差	-27.10	-9.04	-15.94	-24.21	-0.28	1.78	-3.20
实测洪量	70.33	86.10	96.46	82.86	78.55	78.30	78.86
72h 预报洪量	51.33	75.79	80.31	63.70	79.23	79.84	77.41
洪量误差	-27.01	-11.97	-16.74	-23.13	0.87	1.96	-1.84
实测洪量	93.46	109.47	126.63	109.53	106.53	103.67	99.64
96h 预报洪量	66.94	92.88	105.36	85.58	103.57	103.86	100.97
洪量误差	-28.37	-15.15	-16.80	-21.87	-2.79	0.19	1.33
实测洪量	105.19	119.59	140.01	123.08	117.87	114.89	109.98
108h 预报洪量	74.77	99.97	116.98	96.55	112.80	114.16	111.93
洪量误差	-28.92	-16.40	-16.45	-21.56	-4.30	-0.64	1.77

注: 表3中洪峰单位为m³/s, 洪量单位为亿m³, 误差单位为%。

20080829号洪水的地区组成中三峡区间来水所占比重较大, 譬如20080812号洪水, 在8-14 20:00 预报时, 三峡库区12h预见期内降雨约25mm, 24h内降雨约40mm, 三峡区间降雨产生洪水的产汇流时间不足12h, 因此, 在不考虑未来降雨的情况下, 无法获知未来24h的来水情况, 预报精度必然较低。

为了分析未来降雨对三峡入库预报的影响程度, 针对上述3场预报精度较差的洪水, 结合未来降雨重新进行预报计算, 用于分析未来降雨对预报的影响, 结果统计见表4, 20080812号洪水考虑未来降雨前后的预报过程对比见图5。

表4在考虑未来降雨的情况下, 原预报效果较差的3场洪水预报精度均有了明显提高, 表明未来降雨对三峡部分场次洪水预报精度影响很大, 三峡2008年8月14日考虑未来降雨前后的入库预报过程对比(如图5)进一步证明了这一点。

表4 2008年三峡入库洪水预报精度(考虑未来降雨)

洪号	20080705	20080812	20080829	
预报时间	07-04T8:00	08-14T20:00	08-28T20:00	
预见期/h	24	24	24	
实测洪峰	34 500	41 000	36 000	
预报洪峰	30 915	42 033	35 125	
洪峰误差	-10.39	2.52	-2.43	
实际峰现时间	07-05T08:00	08-15T20:00	08-29T20:00	
预报峰现时间	07-05T09:00	08-16T01:00	08-30T00:00	
峰现时间误差	1	5	4	
24h	实测洪量	24.95	28.47	26.55
	预报洪量	22.77	28.53	25.67
	洪量误差	-8.76	0.23	-3.30
48h	实测洪量	49.01	62.95	56.07
	预报洪量	46.88	64.22	54.46
	洪量误差	-4.33	2.03	-2.88
72h	实测洪量	70.33	96.46	82.86
	预报洪量	66.79	96.40	78.72
	洪量误差	-5.02	-0.06	-4.99
96h	实测洪量	93.46	126.63	109.53
	预报洪量	88.65	126.89	103.69
	洪量误差	-5.15	0.21	-5.33
108h	实测洪量	105.19	140.01	123.08
	预报洪量	99.79	140.54	116.43
	洪量误差	-5.14	0.38	-5.40

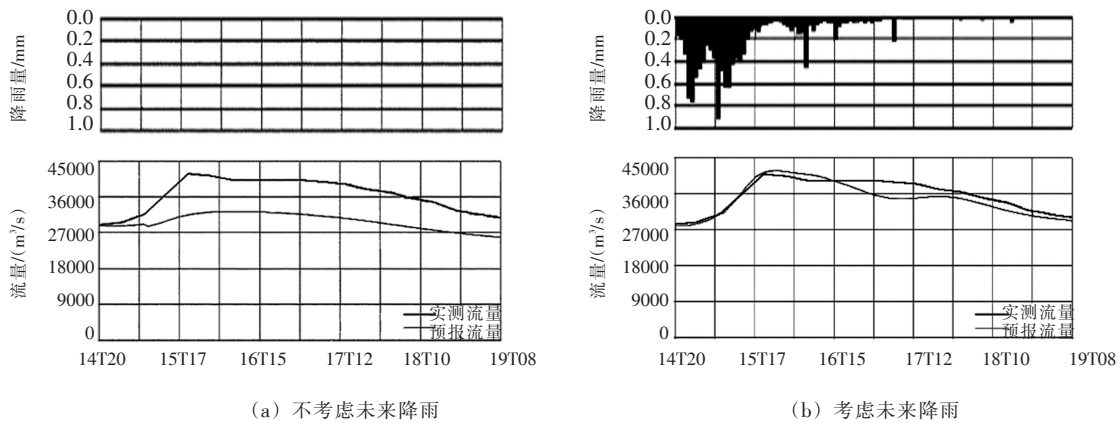


图5 2008-8-14T20:00 预报108h过程

4 结语

通过三峡特大流域的预报制作, 得出如下结论: (1)复杂的流域和暴雨洪水特性需要多模型、多方案的组合预报互为补充; (2)半分布式水文模型因对信息的精度要求较低, 且部分考虑了降雨和下垫面的空间差异, 可较好应用于大型、特大型流域; (3)通过河网特征与模型汇流参数关系的建立, 依据具体流域的特征信息获取河网汇流参数, 是河网汇流计算的有益尝试, 并可对无资料流域预报研究提供借鉴; (4)整个流域由大到小、逐步分级, 逐级预报、逐级校正, 层层检验、层层把关的预报制作方式是保证大型、特大型流域长预见期、高精度预报的关键; (5)考虑未来降雨、基于遥测信息的预报校正是预报系统提高流域预报精度、增长预见期的有效手段。

参 考 文 献:

- [1] 赵人俊. 流域水文模拟[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984 .
- [2] 王船海, 等. 三峡区间入库洪水实时预报系统研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(6): 677-681 .
- [3] 陈仁升, 等. 水文模型研究综述[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 221-229 .
- [4] 胡和平, 田富强. 物理性流域水文模型研究新进展[J]. 水利学报, 2007, 38(5): 511-517 .
- [5] 任立良, 刘新仁. 数字高程模型信息提取与数字水文模型研究进展[J]. 水科学进展, 2000, 11(4): 463-469 .
- [6] 康玲, 等. 基于数字高程模型的流域变动等流时线方法[J]. 水利学报, 2006, 37(1): 40-44 .

Operation and analysis of flood forecasting scheme for the Three Gorges Project

LI Chun-hong¹, WANG Jian-ping¹, WANG Yu-hua², REN Li-liang³

(1. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;

2. Three Gorges Cascade Dispatching and Communication Center, Yichang 443133, China;

3. State Engineering Research Center of Water Resources Utilization and Project Safety, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Since the geomorphology characteristic of river basin in the Three Gorges Project is complicated and the storm rainfall possesses multiple centroid, the flood occurred to the project will be composed of various types. It is necessary to establish a combined flood forecasting scheme integrated with multiple model and multiple operation scheme to be adapted to this complicated situation. A flood forecasting scheme based on 572 telemetered gauging stations was developed. Its feasibility was verified by the examination of 7 flooding events in 2008. It is found from the practice that the combined forecast of subcatchment-based multi-model and multi-scheme is suitable to be use in large-scale basins.

Key words: Three Gorges reservoir; flood forecast; cascaded forecast; coming rainfall; real-time correction

(责任编辑: 王成丽)