

梁犁丽,袁林山,李匡,等.考虑水电站调蓄影响的堵河流域洪水预报方案构建[J].人民珠江,2018,39(5):16-20.

考虑水电站调蓄影响的 堵河流域洪水预报方案构建

梁犁丽¹,袁林山²,李匡¹,胡宇丰¹

(1. 中国水利水电科学研究院 北京中水科水电科技开发有限公司,北京 100038; 2. 湖北黄龙滩水力发电厂,湖北 十堰 442000)

摘要:随着堵河流域水电能源大规模开发,多级电站水库建成蓄水,原堵河流域洪水预报方案已不适应调度要求。采用三水源新安江模型、水库调洪演算法和 2005—2015 年流域测站资料等,建立了考虑水库调蓄影响的堵河流域洪水预报方案。结果表明,在众多电站水库调蓄下,以洪峰流量和洪量的 20% 作为许可误差,龙背湾、潘口和黄龙滩 3 个预报断面预报方案合格率在 82% 左右。本预报方案的建立可为流域内各水电站的安全运行提供必要的技术支撑,同时对整个流域的防洪具有重要意义。建议在利用本方案进行实时洪水预报时,与流域内水库调度相结合,并实时调整前期土壤含水量等初始值,以达到好的预报效果;另外还需不断增加场次洪水以验证模型参数,修订和更新预报方案,进一步提高预报精度。

关键词:洪水预报;水库调洪演算;新安江模型;方案构建;堵河

中图分类号:TV697.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9235(2018)05-0016-05

Construction of Flood Forecasting Scheme for Duhe River Basin Considering the Influence of Dispatching of Hydropower Stations

LIANG Lili¹, YUAN Linshan², LI Kuang¹, HU Yufeng¹

(1. Beijing IWHR Technology Co., Ltd China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. Hubei Huanglongtan Hydropower Plant, Shiyan 44200, China)

Abstract: With the large scale development of hydropower energy of Duhe River, many reservoirs of power stations have been built and impounded, and the former flood forecasting scheme of Duhe River basin has not been applicable to the dispatching requirements. A new flood forecasting scheme of the Duhe River basin is established by using the Xin'An Jiang model, the reservoir flood routing algorithm and the observed data of the basin from year 2005 to year 2015. The results show that, with many reservoirs' regulation, taking 20% of the peak flow and at the same time 20% of the flood volume as allowance error, the forecast scheme' precision of 3 flood forecasting sections of Longbeiwang, Pankou and Huanglongtan is about 82%. The construction of the flood forecasting scheme of Duhe river basin can provide necessary technical support for the safe operation of the hydropower stations in the basin, and is of great significance to the flood control of the whole basin. It also recommends that for real-time flood forecasting, in order to achieve good forecasting results, the scheme could be used combined with reservoir dispatching, at the same time adjusting the value of the parameters of antecedent soil moisture on time; besides this, it needs to add recent flood events for parameter verification, to revise and update the forecasting scheme, and further to improve the forecasting accuracy.

Keywords: flood forecasting; flood regulating calculation; Xin'An Jiang model; construction of forecasting scheme; Duhe river

堵河流域呈扇形,地跨陕西、湖北两省,上游为海拔 1 200~2 500 m 的高山,下游属海拔 500~1 200 m 的中、低山地,流域平均高程约 1 055 m。堵河为汉江中上游南岸支流,发源于川陕交界的大巴山北麓,全长 354 km,系山区型河

基金项目:国家重点研发计划资助课题(2017YFC0405801,2017YFC0405804);中国水利水电科学研究院基本科研业务费专项(AU0145B402017,WR0145B272016)

收稿日期:2017-10-31

作者简介:梁犁丽,女,主要从事水文预报和水库调度研究。E-mail:liangli0921@163.com

流,河谷狭窄,滩多流急,河道平均坡降 4.81‰,干流为 0.82‰。堵河有西、南两源,西源为主流,两源在两河口汇合后始称堵河。堵河流域水电开发蓬勃发展,目前已经有大中型水电站 16 座,总库容超 100 亿 m^3 ,总装机超 150 万 kW,干流及主源共划分七级,黄龙滩水电站处于末级,其坝址控制流域面积 11 892 km^2 (1982 年堵河流域规划复核成果),占堵河流域面积的 95.1%,黄龙滩水库以上堵河流域水系示意图 1。

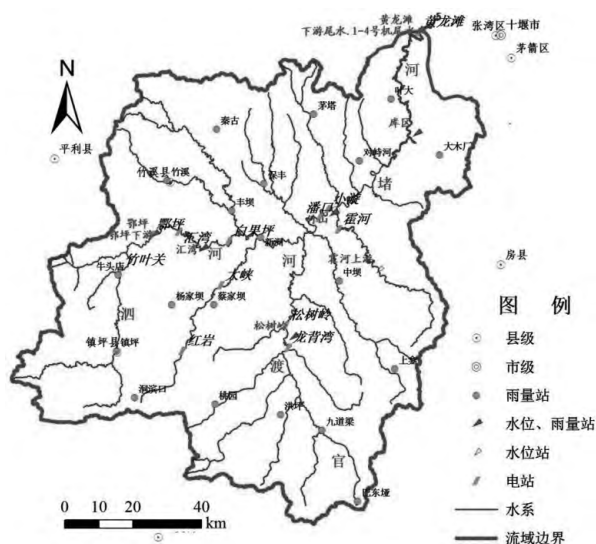


图 1 黄龙滩水库大坝以上堵河流域水系

在实时洪水预报过程中,预见期长、精度高的洪水预报成果是水库防汛安全的保证,是实现水库科学合理调度的基础,更有利于水库调度节水降耗增效工作的开展。受上游众多水库调蓄影响,黄龙滩水库以上堵河汇流形势发生较大变化,加之气候异常引起“坨子雨”频发,原设计的洪水预报方案已经不能适应当前形势,无法满足各水库调度需求。利用近期水文资料,结合流域水库群格局,根据重要断面预报需求,重新建立堵河流域洪水预报方案势在必行。本文拟在分析流域暴雨洪水特性的基础上,考虑水库群对堵河洪水预报的影响,选择合适的产汇流模型校正方法等,利用近 10 a 水文资料重新建立堵河流域洪水预报方案,并评定方案精度,为各级重要水库断面的洪水预报提供可靠的技术支撑。

1 流域暴雨洪水特性分析

堵河流域位于北亚热带江北湿润区、副热带季风气候区,属湿润半湿润地带,四季分明,降雨丰沛。流域内多年平均气温 15.4 $^{\circ}\text{C}$,多年平均年降水量约 990 mm,水面蒸发量约 870 mm,日照 1 726 h,无霜期 235 d。据堵河竹山水文站多年统计资料,竹山站多年平均径流量为 61.8 亿 m^3 ,多年平均流量 164 m^3/s [1]。流域年径流深约 500 mm,6—9 月径流量约占年径流量的一半,9 月最大,约占 14.5%。

堵河暴雨集中,强度大,易成洪灾。上游年降雨量可达 1 000 mm 以上,中下游一般在 800 ~ 900 mm 左右,平均降雨

量 920 mm,日最大降雨量 150 mm。降雨量年内分配不均,每年 4—10 月暴雨频繁,为本流域的洪水季节,来水量约占年来水量的 85%,其中 7—9 月最丰,约占全年的 45%;11 月至次年 3 月为枯水期。

年最大洪水在汛期各月均可出现,7、9 月出现的机会最多,洪水陡涨陡落,洪量也较大。年内洪水有明显的夏汛和秋汛,夏汛洪水多发生在 6 月中下旬至 7 月中旬,秋汛洪水则多发生在 9 月中旬至 10 月上旬;夏汛洪水以单峰居多,一次洪水过程约为 3 d,秋汛洪水多为复峰,一次洪水过程约 5 d。

2 水利工程及其对洪水预报的影响

按照《堵河流域规划报告》,堵河干流及一级支流泗河共有七级,总装机 1 400 MW。堵河干流分为五级开发,即龙背湾、松树岭、潘口、小漩和黄龙滩,泗河上有鄂坪和汇湾电站,均已建成投产。流域内其他较大的水利工程有:泗河上游的竹叶关、下游的白果坪,支流泉河的红岩、大峡水电站,支流霍河的牧渔山、霍河水电站等。堵河干流上五级电站除小漩电站水库调节性能为日调节外,其余电站水库均具有多年调节、年调节或不完全年调节性能,泗河汇湾为径流式电站,鄂坪具有年调节性能,这些具有调节性能的电站水库对流域洪水产生较大影响。

a) 水库建成改变了原流域的产汇流条件。如堵河两源在潘口水库坝址上游约 13.5 km 处汇合,潘口水库建成后,官渡河回水末端至官渡水文站附近,泗河回水至新洲水文站上游约 20 km,水库长度约 61 km,回水区原有的产汇流条件均会发生变化。

b) 回水线延长使上下游站的传播时间缩短,天然河道传播时间和水库中的传播时间临界点受坝前水位影响 [1]。如汇湾 ~ 新洲的洪水传播时间平均约 3 h,新洲 ~ 竹山站的洪水传播时间一般为 5 h;龙背湾 ~ 官渡的洪水平均传播时间约 2 h,官渡 ~ 竹山的洪水传播时间一般为 6 h;竹山 ~ 黄龙滩洪水传播时间平均为 5 h。水电站建成后,由于河道水深加大,洪水波传播速度加快。据统计,潘口水库建成后,原竹山水文站被淹没,潘口库区的传播时间约需 1 h,潘口出库洪水传播时间至黄龙滩库首约需 2 h,比原竹山 ~ 黄龙滩洪水传播时间减少约 2 h。

c) 具有调节性能的水电站运行对洪水洪峰和洪量有较大影响。如中小洪水期,潘口水库的蓄水运行不但降低了黄龙滩水库的最高库水位,同时延迟了黄龙滩水库最高水位和入库洪峰出现的时间;在大洪水期,黄龙滩入库洪水峰值有较大幅度的降低,出现的时间有明显延迟 [2]。

d) 水位流量关系变化。水库蓄水改变了原河道的水位流量关系,使相同流量下的水位发生变化。如潘口水库建成后,泗河和官渡河下游河道部分属于库区,原支流控制站新洲站和官渡站撤销或迁移,其河道水位流量关系需要重新率定。

3 总体设计与方法

3.1 总体思路

考虑水利工程影响的流域洪水预报方案构建的总体思路是依托流域现有历史水文、水利工程、数字地形等资料,采用遥测站历史和实时的雨量、水位、流量等信息,收集相应的流域蒸发资料,根据流域洪水特性,选取合适的产汇流模型,利用重要预报断面历史洪水过程率定和验证模型参数,编制流域各断面或水库入库及区间洪水预报方案。对于具有调蓄作用的水库,将坝址处作为一个预报断面,利用水文预报模型计算出该断面以上的计算单元/区间入流后,利用水库调洪规程计算出出库流量,并按照河道汇流计算推算至下一个断面,叠加区间入流后得到下一个预报断面的流量/水库入流,具体思路见图 2。

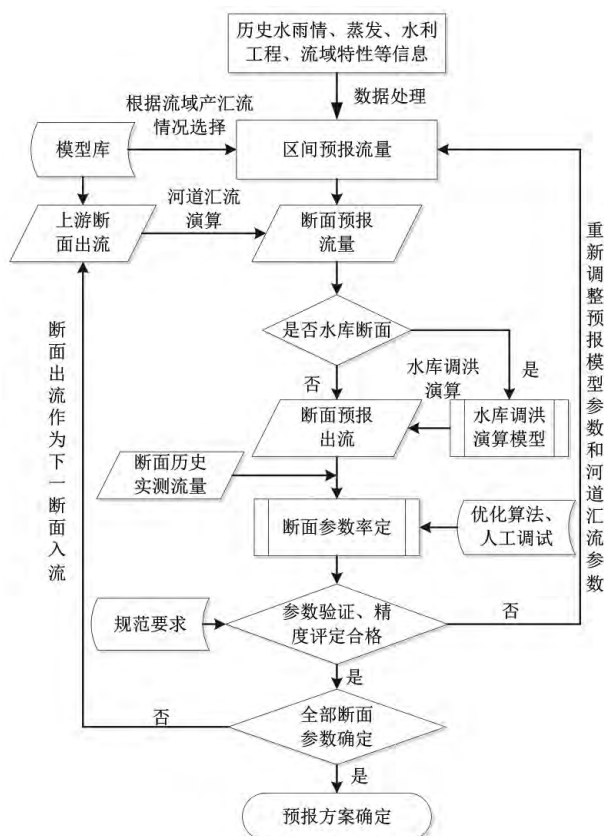


图 2 考虑水利工程影响的流域洪水预报方案构建总体思路

3.2 模型方法选择

预报模型是洪水预报方案及洪水预报系统的核心,各预报断面洪水预报模型和方法的选用应适合河流的水文特征,对于不同流域面积、传播时间和资料条件的河流,所采用的模型和方法应有所侧重,还应综合考虑各预报断面控制的流域内的地形特征、水利工程、汇流特性等因素,确定合理的预报时间步长,选择合适的流域产流、坡面汇流和河道汇流模型^[3-4]。具备洪水预报方案编制条件的湿润与半湿润地区,

流域产汇流可选新安江三水源蓄满产流、水箱模型、三水源滞后演算汇流模型,河道汇流可选用马斯京根河道分段连续演算模型(MSK)、汇流系数法等;也可以使用其他水文/水力学模型或经验方法进行产汇流计算。

本流域面积大,属于湿润区,选择三水源新安江模型作为产流模型,坡面汇流选滞后演算法,河道汇流选择马斯京根分段连续演算模型。并设定 36 h 的预热期,目的是在连续计算的预热期内使各层土壤含水量、地表水和地下水初值趋于与实测值吻合,获得与实测洪水过程一致的洪水起涨过程。对于具有年调节以上性能的水库预报断面,获得水库入流后,选择水库调洪演算模型计算出库流量。

4 预报方案编制

根据要求,需要对龙背湾、潘口和黄龙滩 3 个水库电站断面进行预报方案编制,其大概位置见图 1 中的龙背湾、潘口和黄龙滩电站处。由于本流域面积大,分块分单元面积也较大,将洪水预报时段长设置为 3 h 已能满足预见期长度和预报精度要求。

4.1 数据资料与处理

黄龙滩水库坝址以上堵河流域水文站网包括遥测水位站、人工水文站、遥测/人工雨量站,经过多次站网调整,部分水文测站撤销、改名或移置,现正在使用的测站共计 28 个,其中水文站 6 个,雨量站 20 个,水位站 2 个,站网密度约 424.7 km²/站。采用 2005—2015 年 26 个站的雨量资料和松树岭、竹山和黄龙滩 3 个水文站的流量资料,其中由于龙背湾水库的建设,松树岭站流量资料只到 2012 年,黄龙滩站入库资料时段为 2009—2015 年,其余各站均有全时段资料。将各站雨量和流量资料按照规范处理成时段长为 3 h 的数据导入专用数据库中;流域内无专门的蒸发站,利用气象部门设立的气象站蒸发资料,资料年限为 1980—2015 年,将其小水面蒸发经过统计公式转换成大水面蒸发后计算出 36 旬的多年平均 3 h 时段蒸发量,并输入数据库相应表格中供模型调用。

根据流域内测站分布情况,利用泰森多边形和人工经验相结合的方法划分了块和计算单元,流域分块分单元及单元所用雨量站、蒸发站情况见表 1。

各单元间的汇流关系见图 3,其中单元出口~预报断面、预报断面到下一个预报断面间的流量采用马斯京根分段连续演算法,将入流演算到预报断面出口,即某预报断面的入流包含上一预报断面的入流和两断面之间的区间入流(单元坡面汇流)。

由于未收集到龙背湾和潘口的入库流量资料,在参数率定时,龙背湾断面以松树岭水文站为出流站和校正站,潘口断面以竹山水文站为出流站和校正站,黄龙滩断面参数率定以经过平滑的黄龙滩历史入库流量为实测流量。选取 2005—2015 年各预报断面出流站具有代表性的大、中、小洪水过程,计算各场洪水的产流系数,剔除产流系数大于 1 或实测洪水过程明显小于上一断面入流过程的场次洪水后,龙背湾断面选取洪水 18 场,潘口断面 24 场,黄龙滩断面 14 场。

表 1 单元划分与单元中测站

块编码	单元编码	单元名称	单元面积/km ²	单元中雨量站	所用蒸发站
100	101	龙背湾 1	1 197.38	巴东垭、九道梁、洪坪	镇坪
	102	龙背湾 2	1 124.58	松树岭、桃园、洪坪	
	201	鄂坪	1 588.45	洞滨口、镇坪、牛头店、鄂坪	
	202	大峡	705.68	洞滨口、杨家坝、蔡家坝	
200	203	大峡 - 潘口、松树岭 - 潘口 1	1 214.78	竹溪、秦古	镇坪
	204	鄂坪 - 白果坪	611.04	鄂坪、汇湾	
	205	大峡 - 潘口、松树岭 - 潘口 2	816.60	保丰、丰坝	
	206	大峡 - 潘口、松树岭 - 潘口 3	862.99	上龛、中坝	
	207	大峡 - 潘口、松树岭 - 潘口 4	838.37	新洲	
300	301	霍河	776.91	上龛、中坝	十堰
	302	潘口 - 黄龙滩 1	1 177.22	茅塔、竹山、对峙河	
	303	潘口 - 黄龙滩 2	978.04	大木厂、库区、叶大、黄龙滩	

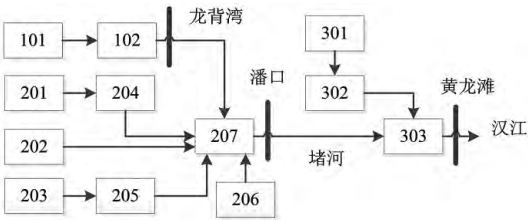


图 3 各块各单元之间的汇流关系

4.2 预报断面参数率定和验证

模型参数率定的方法分为人工试算和自动优选两种，在实际操作过程中两者需结合使用。本文以标准粒子群算法 (PSO) 结合人工经验进行新安江模型参数率定。选择各断面约前 2/3 的场次洪水用于模型参数率定，约后 1/3 的场次洪水用于参数验证。对于新安江模型中不敏感的参数 B、C、IM、EX 按照经验值进行确定，河网 L 根据坡面汇流时间确定，河道分段数 n 根据各河段场次洪水传播时间确定，其余参数通过优化算法率定^[4]。优化算法目标函数设为误差平方和最小准则，即实测流量和模拟流量差值的平方和最小；粒子种群规模设为 70，粒子维数为需要率定的参数个数 11，加速因子 c_1 与 c_2 均为 2，位置与速度之间的限制系数 k 为 0.729，固定惯性权重 w 为 0.5，迭代终止条件设为两次迭代目标函数之差 $<10^{-5}$ 。由于粒子群算法中初始值（模型参数）的取值在取值范围之间随机选择，可能每次优选出的参数不一致，且新安江模型存在异参同效的问题，故进行 10 次优化计算，挑选出其中最优的一组参数作为预报方案。经比选，各方案预报方案模型参数见表 2。

4.3 方案精度评定

对预报方案率定和检验成果进行统计分析，根据 GB/T2482—2008《水文情报预报规范》确定方案等级。本文采用实测洪峰流量和洪量的 20% 作为许可误差评价预报方案精度，3 个预报断面 2005—2015 年场次洪水新安江模型预报方案精度评定结果见表 3。

表 2 各断面预报方案模型参数

龙背湾		潘口		黄龙滩	
参数名称	参数值	参数名称	参数值	参数名称	参数值
K	0.52	K	0.51	K	0.67
UM	13	UM	20	UM	16
LM	71	LM	60	LM	68
C	0.16	C	0.16	C	0.16
WM	100	WM	123	WM	125
B	0.39	B	0.4	B	0.39
IM	0.02	IM	0.02	IM	0.02
SM	28	SM	10	SM	21
EX	1.2	EX	1.2	EX	1.2
KG	0.264	KG	0.06	KG	0.465
KI	0.436	KI	0.64	KI	0.235
CG	0.998	CG	0.998	CG	0.984
CI	0.604	CI	0.76	CI	0.66
河网 CL	0.51	河网 CL	0.63	河网 CL	0.6
河网 L	1	河网 L	1	河网 L	1
河道 x	0.3	河道 x	0.414	河道 x	0.456
河道 1n	3	河道 1n	8	河道 1n	7
河道 2n	0	河道 2n	6	河道 2n	4
		河道 3n	5	河道 3n	0
		河道 4n	3		
		河道 5n	1		
		河道 6n	1		
		河道 7n	0		
		入流 x	0.425	入流 x	0.483
		入流 1n	3	入流 1n	1

注：河道 1n、河道 2n…河道 7n 分别表示单元 1、2…7 出口到预报断面的河道汇流分段数，入流 1n 表示入流块 1 出口到预报断面的河道汇流分段数

由表 3 可知，以实测洪峰流量和实测洪量的 20% 作为许可误差，3 个预报断面参数率定期预报方案合格率分别为 75.0%、87.5% 和 88.89%，预报方案精度分别为乙级、甲级、甲级；验证期合格率分别为 83.3%、75% 和 80%，预报方案精度均为乙级，可用于正式预报。

表 3 各预报断面合格率及预报等级统计

序号	预报断面	模拟项目	率定/ 验证期	预报方案精度			确定性系 数均值	
				总场次	合格 场次	合格 率/%		方案 等级
1	龙背湾	洪峰流量、洪量	率定期	12	9	75.00	乙级	0.801
			验证期	6	5	83.33	乙级	0.881
			总精度	18	14	77.78	乙级	0.828
2	潘口	洪峰流量、洪量	率定期	16	14	87.50	甲级	0.802
			验证期	8	6	75.00	乙级	0.679
			总精度	24	20	83.33	乙级	0.761
3	黄龙滩	洪峰流量、洪量	率定期	9	8	88.89	甲级	0.790
			验证期	5	4	80.00	乙级	0.673
			总精度	14	12	85.71	甲级	0.748

4.4 预报方案模拟结果分析

从表 3 场次洪水模拟结果的平均确定性系数可知,潘口和黄龙滩断面率定期场次洪水模拟过程的平均确定性系数高于 0.5 但低于 0.7,过程模拟精度略低。若以确定性系数评定,则潘口、黄龙滩断面预报方案精度降为丙级。究其原因可能是潘口断面与竹山站还有一定的距离,流量过程略有偏差;黄龙滩断面洪水过程为入库反推流量,存在锯齿现象,影响确定性系数。

所选洪水过程模拟洪峰、洪量与实测洪峰、洪量有偏差的原因可能是:①流域内大中型水库的洪水期调度的调蓄作用;②暴雨中心的影响及降雨不均匀造成的点雨量处理成面雨量时的误差;③个别时段实测流量少和流量资料处理成 3 h 时段时造成的误差,以及降水资料处理过程中的误差等。鉴于以上原因,建议:①进一步收集流域内鄂坪、汇湾、龙背湾、松树岭、潘口、黄龙滩等大中型水库的运控状况,特别是大洪水时水利工程的下泄状况,有条件后将其出库流量资料输入数据库进行模型参数的再率定和验证;②加强对实时水雨情信息的维护与管理,加强对实测流量资料的处理和整编,提高使用数据的质量和精度;③利用近期数据不断修订和完善本预报方案。

5 结语

本文在对黄龙滩水库坝址以上流域自然地理和暴雨洪水特性分析的基础上,考虑流域内各水库运行调度的特点,分析了流域内水利工程对洪水预报的影响;根据流域特性和测站资料情况,确定了预报时段长和预报模型,选取了预报

根据雨量站,并利用泰森多边形和人工经验相结合的方法划分了计算单元,计算了每个单元雨量站的权重;随后选取了每个预报断面的若干场次洪水率定和验证了模型参数,确定了预报方案;最后对预报断面场次洪水的预报方案精度进行了评定。本次预报方案选取的场次洪水具有一定的代表性,利用洪峰流量、洪量的 20% 作为许可误差,堵河流域 3 个预报断面率定期合格率分别为 83.3%、75.0%、80.0%,新安江模型预报方案精度均为乙级,可用于正式预报。

预报方案的精度受到众多因素的影响,如水利工程、流域下垫面条件、河道状况、测站分布、资料条件等。由于未收集到 2 个预报断面的入库和下泄流量资料,利用附近水文站的资料进行参数率定和验证存在一定的误差;有入库流量的黄龙滩断面个别场次洪水过程存在锯齿现象,影响了洪水过程模拟精度。从预报断面场次洪水合格率和精度评定结果来看,本预报方案精度较高,其预报结果能够对整个流域的防洪形势作出科学、准确的分析,为防汛会商决策支持系统提供大量信息,对整个流域的防洪具有重要意义。由于未收集到众多水库的下泄流量资料,建议在利用本方案进行实时洪水预报时,与流域内各水库的实时调度相结合,特别是具有调蓄能力的大、中型水库,并实时调整前期土壤含水量等,以期达到好的效果。在实际操作中,还需不断增加场次洪水以验证模型参数,不断修订和更新预报方案,进一步提高预报精度。

参考文献:

- [1] 忠华,贺德才,卢向飞. 堵河流域水文特征分析[J]. 水文, 2015, 35(1): 92-96.
- [2] 熊金和,郭丽娟,同斌,等. 受水利工程影响的乌江流域洪水预报方法浅析[J]. 人民长江, 2011, 42(6): 35-37.
- [3] 梁犁丽,袁林山,胡宇丰,等. 潘口水库调蓄对黄龙滩大坝的防洪安全影响研究[J]. 水电能源科学, 2013, 31(3): 58-61.
- [4] 李匡,何朝晖,梁犁丽. 雅砻江流域水情预报方案[J]. 人民珠江, 2017, 38(8): 33-38.
- [5] 陆玉忠,胡宇丰,李匡,等. 水电站施工期洪水预报系统设计与开发[J]. 水利水电技术, 2017, 48(4): 30-34.

(责任编辑: 郑 斌)