

三水源新安江模型在梅州水库的应用及效果分析

梁荣欢

广州市东江北干流域事务中心

摘要:梅州水库位于增江重点一级支流永汉河中游,主要功能是拦截南昆山汛期洪水,与天堂山水库、增江堤防等重要水工程构成增江流域防洪工程体系。介绍梅州水库洪水预报作业的变化历程,分析三水源新安江模型在梅州水库的应用和效果,提出预报模型改进建议,为优化水库调度、减轻下游防洪压力和灾害损失提供技术借鉴。

关键词:梅州水库;三水源新安江模型;洪水预报;精度评定

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.12.070

一、概况

(一) 水库工程概况

梅州水库位于龙门县永汉河中游,属增江水系,主要功能是拦截南昆山汛期洪水,与天堂山水库、增江堤防等重要水工程构成增江流域防洪工程体系。水库控制流域面积133km²,100a一遇洪水洪峰流量1310m³/s,1000a一遇洪水洪峰流量1762m³/s,总库容8051万m³;工程从1980年蓄水运行以来,平均每5年便会发生一次流域性大洪水(入库洪量大于3000万m³),防洪任务艰巨。通过错峰调度,水库可削减20a一遇洪峰流量835m³/s,减淹耕地1.87万hm²,捍卫下游50多万人民生命财产安全^[1],对治理永汉河及增江洪水灾害起到重要作用。

(二) 搭建洪水预报模型的必要性

一方面,由于历史原因,国内大多数中小型水利工程未建立洪水预报系统,预警预报主要依靠管理人员的经验判断,预报工作进展和效果不理想,梅州水库也不例外。随着经济社会的高速发展和科学技术的不断进步,水库管理中智能化程度低、感知数据利用不足的问题日益凸显,仅靠人工经验和工程措施来应对暴雨洪水已明显不足。另一方面,梅州水库所在的增江流域具有“入汛早、雨量多、次数频、龙舟水偏重”的鲜明特点,据统计,近70年来增江流域共发生超危险水位的灾害性洪水29次,严重威胁增江沿岸人民生命及财产安全并造成了巨大的洪涝灾害损失,流域水旱灾害防御形势不容乐观。水文模型作为一项经济高效的非工程措施,能及早快速地预测洪水灾害风险,为决策者提供最优的洪水预报与调度方案,为人员提前转移安置争取时间,从而提升防灾减灾能力。因此,搭建梅州水库洪水预报模型,开展精细洪水预报,对优化水库防洪调度、减轻下游防洪压力和灾害损失具有重要意义,也是加速水库从“重建设轻管理”向“重建设强管理”转变的重要举措。

2022年初,梅州水库工程管理单位与珠江水利科学研究院(下属企业广东华南水电高新技术开发有限公司)签订了合作协议,研发梅州水库洪水预报与调度系

统。系统主要搭建新安江三水源预报模块和调洪演算模块,可根据实时降雨、库水位等信息,在既定调度方式或预期调度规则下,滚动预报水库未来短期、中长期的雨水情,为水库防洪调度和应急抢险提供技术支持。

二、三水源新安江模型

(一) 模型适用性分析

梅州水库控制流域面积均位于低纬度地区,受东南亚季风影响很大,气候炎热多雨,流域多年平均降雨量2300mm。受地形和气候的影响,降雨量时空分布很不均匀,总体趋势由西北向东南递减,变化范围在1500~2700mm之间,暴雨高值区在上游南昆山一带。加上流域内多为山地、植被茂盛,河床坡降较大、汇流时间短,暴雨时常形成峰型肥硕的暴涨式洪水。如何合理反映流域较为复杂的雨水情,体现径流成分和产汇流的明显差异成为预报模型选择与深化的重点环节。因此,洪水预报模型应充分考虑梅州水库流域降雨、地形、植被分布等特点,宜以流域现有5个分散的雨量站为中心,合理拟定暴雨的点面关系,并将水源划分为地面、壤中和地下三种径流成分进行产汇流计算,单元面积在降雨量、产汇流的擦。而三水源新安江模型是分散性的降雨径流概念模型,采用分流域单元的蓄满产流方式,最后进行单元面积以下的河网汇流计算,适用于湿润地区与半湿润地区的湿润季节,可选作梅州水库洪水预报与调度的技术模型。

(二) 模型技术路线

梅州水库汛期洪水的径流成分包括地表、壤中和地下径流三种。模型搭建按照前后端技术分离、组件式开发的工作思路,采用地理信息系统(GIS)技术在电子地图上信息进行查询、结果展示等操作,核心是根据梅州水库流域降雨、产流等洪水规律对流域蒸散发、产流量和分水源径流量计算精准演算,最后采用WebGIS技术来实现Web方式的交互。其中,单元面积产流以自由水蓄水库概念进行水源划分并计算蓄水量;流域汇流以河网和河道两个过程进行汇流划分,河网汇流采用时变线性系统将三种径流成分进行累积演算;河道汇流采用马斯京根分段演算法。

(三) 模型参数率定

模型参数率定包含参数敏感性分析和参数优化两部分内容^[2],本质是通过调整水文模型各参数值,分析各参数对模型输出结果的影响程度,使模型输出值尽可能地逼近实际值,得到最能反映流域水文特征的一组最优值。洪水预报精度很大程度上取决于水文模型结构的合理性和模型参数确定方法。当为某一特定流域选定恰当的水文模型以后,参数优选方法的选择将对模型参数的最终确定起关键作用。根据梅州水库现有水文资料,经分析与演算,得到三水源新安江模型蒸散发计算、产流计算、分水源计算和汇流计算各层次参数的敏感程度

表1 梅州水库三水源新安江模型参数率定结果

参数名称	参数取值范围			敏感程度
	下限值	上限值	最优值	
流域蒸散发能力折算系数K	0.2	1.8	1.2	一般
流域平均蓄水容量WM	120	180	130	敏感
上层蓄水容量WUM	10	40	20	一般
下层蓄水容量WLM	40	80	60	一般
蓄水容量曲线指数B	0.2	0.3	0.3	一般
流域深层张散发系数C	0.1	0.3	0.15	一般
流域平均自由水蓄水容量SM	20	80	70	一般
自由蓄水容量曲线指数EX	1.0	1.5	1.3	一般
自由水蓄水库壤中流出流系数Ki	0	1.0	0.3	一般
自由水蓄水库对地下径流出流系数Kg	0	1.0	0.698	一般
河网蓄水消退系数Cs	0.3	0.8	0.58	敏感
壤中流水库消退系数Ci	0.9	0.99	0.99	一般
地下水消退系数Cg	0.96	0.998	0.995	一般
河道马斯京根系数-传播时间Ke	1.0	2.0	1.3	敏感
河道马斯京根系数-河道调蓄能力Xe	0	1	0.2	敏感

和最优取值，见下表1。其中，流域平均蓄水容量WM、河网蓄水消退系数Cs、河道马斯京根系数-传播时间Ke和河道调蓄能力Xe较为敏感，WM越大，预报结果也越大；Cs越大，预报结果越扁肥；Ke越小、Xe越大，预报过程线越尖瘦，易出现锯齿状。也证明参数优选、率定与验证是搭建洪水预报模型的重要环节，直接决定预报结果的精度。

三、模型应用实践及效果分析

(一) 模型应用实践

梅州水库洪水预报与调度系统建成后，系统能识别气象部门提供的精细化降雨信息，在综合分析实时水雨情的基础上，对梅州水库在汛期可能发生的暴雨洪水进行预报预警。截至目前，系统已模拟预报2022年“5.10-14”和“6.13-15”等场次暴雨洪水，为水库精细化调度提供技术支撑。具体情况如下：

在2022年“5.10-14”场次洪水中，梅州水库发生

持续性强降雨，各站点雨量较均匀（最小值为最大值的80%），流域面平均降雨量401mm（最大小时雨强为5月10日20时的114mm），入库洪量1990万m³，径流系数为0.373，库水位涨幅5.81m。其中，系统预报洪峰流量279.19m³/s，峰现时间为2022年5月10日23时；实测洪峰流量310.02m³/s，实际峰现时间为2022年5月10日22时。暴雨洪水预报模拟过程，见下图1。

在2022年“6.13-15”场次洪水中，梅州水库发生短时强降雨，暴雨中心在库区附近，流域面平均降雨量250mm（最大小时雨强为6月14日8时的148.5mm），入库洪量1619万m³，库水位涨幅3.85m，径流系数为0.487。其中，系统预报洪峰流量433.97m³/s，峰现时间为2022年6月14日10时；实测洪峰流量384.32m³/s，实际峰现时间为2022年6月14日10时。降雨及洪水预报模拟过程，见下图2。



图1 梅州水库2022年“5.10-14”场次洪水过程线

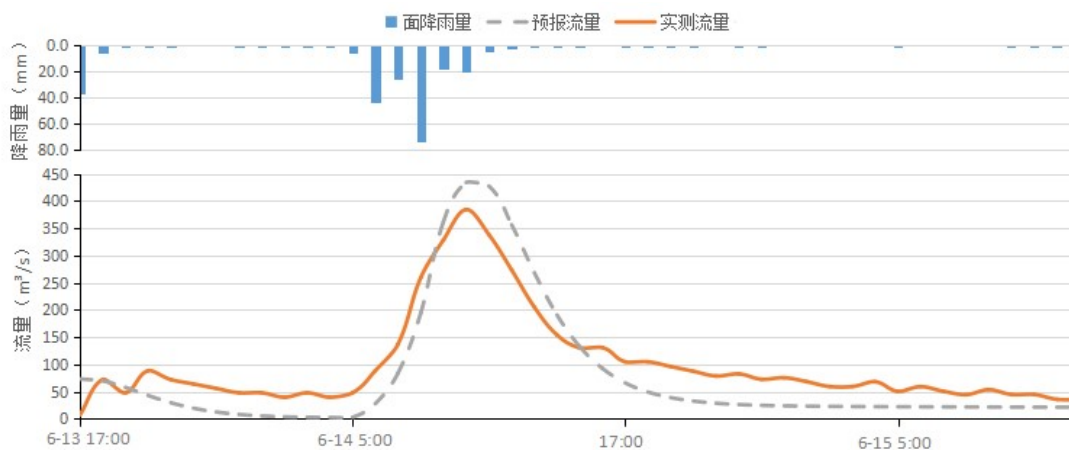


图2 梅州水库2022年“6.13-15”场次洪水过程线

(二) 模型预报考评

模型预报考评是检验模型合理性和适用性的最后关口。通过对预报模型的预报方案、预报作业、预报时效进行精度评定，分析验证模型预报值（包括洪峰流量、洪水总量、峰现时间和洪水过程等）与实测值之间的差值是否处于许可误差范围内，及时发现问题并提出改进措施，对模型参数优化以及系统完善提供指导性意见。在率定期和验证期，选取2004~2021年共10场典型洪水资料进行分析，平均拟合情况良好，9场预报精度达到乙级及以上，1场丙等（确定性系数为0.641）。在正式运行期，已模拟预报2场次洪水，其中，2022年“5.10-14”场次各项预报指标的考评等级均在“一般”及以上；“6.13-15”场次预报的洪峰流量、洪水总量、峰

现时间等指标的考评等级在“一般”及以上，见下表3。考评结果表明三水源新安江模型能较好模拟反映梅州水库的洪水过程，为成功调度梅州水库2022年两场洪水提供了重要决策参考。同时，也揭示“6.13-15”场次预报的洪水过程精度有待提高，究其原因主要有：①流域雨量站布设位置及密度不满足规范要求，既定加权平均计算的流域面雨量未能准确反映流域降雨时空分布情况；②上游水利工程的动态调蓄和引调水作业，对水库洪水过程产生较大影响（例如，上游七星墩水库在暴雨前期加大下泄预腾空，暴雨中期蓄洪错峰拦截洪水，暴雨后期加大下泄降低水位）；③近年来流域经济社会发展迅猛，人类活动较为频繁，流域地理参数也加速变化，影响产汇流模拟结果。

表3 梅州水库三水源新安江模型考评结果

考评指标	2022年“5.10-14”场次		2022年“6.13-15”场次	
	考评标准	考评等级	考评标准	考评等级
洪峰流量预报误差 A_2	$A_2=0.099 \leq 0.1$	好	$0.1 < A_2=0.129 \leq 0.2$	一般
洪水总量预报误差 A_3	$A_3=0.002 \leq 0.1$	好	$0.1 < A_3=0.197 \leq 0.2$	一般
峰现时间预报误差 A_4	$A_4=1.0 \leq 1.0$	好	$A_4=0 \leq 1.0$	好
洪水过程预报误差 A_5	$0.15 < A_5=0.22 \leq 0.30$	一般	$0.30 < A_5=0.74$	差

四、结论

根据三水源新安江模型的应用和效果分析可知，模型主要预报指标的精度较高，预报结果能较好反映梅州水库的洪水情况，为梅州水库开展精细化调度、进一步减轻下游防洪减灾压力提供了技术支撑。为提高三水源新安江模型在梅州水库洪水预报的应用效益，保障水库防洪效益持续充分发挥，建议加快推进流域监测站网的升级改造，促进流域水工程调度信息互通，为系统使用实时全面的水情信息提供便利条件^[3]；考虑流域水工程协同调度和地理参数变化的影响，动态调整预报模型的产汇流参数，不断提高洪水预报的精度、效率和质量。

参考文献

[1] 李生文, 叶阳, 张治昊. 梅州水库汛限水位调整

可行性分析[J]. 水利科技与经济, 2014, 20(6): 74-75.

[2] 王泽勇, 钟永华, 廖卫红, 郑丽媛. 密云水库洪水预报模型及预报成果分析[J]. 海河水利, 2022(3): 15-19.

[3] 邱天尧, 张立刚, 梁秀昉. 水文自动化遥测系统在洪水预报中的应用[J]. 东北水利水电, 2022(8): 38-39.

作者简介: 梁荣欢(1991—), 男(汉族), 广东茂名人, 广州市东江北干流流域事务中心调度与安全生产管理员, 学士, 主要从事梅州水库日常工程调度、安全生产、维修保养等工作以及东江北干流(广州市境内)的水旱灾害防御督查等业务。