

Reflection on the Application of Digital Twin Technology in the Flood Forecasting System of Enshi City, Hubei Province, China

Haoshan Chen Run Zou Yao Yao

Hubei Enshi Prefecture Hydrological and Water Resources Survey Bureau, Enshi, Hubei, 445000, China

Abstract

The flood forecasting system in Enshi urban area is compiled by API model based on measured hydrological data. In the real-time flood forecasting and early warning, it is found that the model is highly dependent on real-time precipitation, but has weak sensitivity to precipitation trend prediction, so it often needs intervention. Taking Enshi urban flood forecasting system as the research object, through the introduction of digital twinning technology, the basin data bases such as rainfall, water regime, engineering conditions and geographical information are constantly consolidated, the flood forecasting model is continuously optimized, and the “four pre-forecasts” capabilities of forecasting, early warning, rehearsal and plan are improved, thus improving the accuracy and foresight period of Enshi urban flood forecasting and early warning, and providing reliable technical support for Enshi urban flood control, disaster relief and decision-making, ensuring people’s lives and property safety to the maximum extent and reducing losses caused by flood disasters. It meets the needs of social development for flood forecasting services and flood and drought disaster prevention work.

Keywords

digital twinning technology; flood forecasting system; application; thinking

数字孪生技术引入中国湖北恩施城区洪水预报系统的应用思考

陈好山 邹润 姚瑶

湖北省恩施州水文水资源勘测局, 中国·湖北 恩施 445000

摘要

恩施城区洪水预报系统利用实测水文资料采用API模型编制。在进行实时洪水预测预警预报作业时发现模型对实时降水量依赖性很强, 对降水趋势预测敏感性较弱, 往往需要进行干预。以恩施城区洪水预报系统为研究对象, 通过引入数字孪生技术, 不断夯实雨情、水情、工情、地理信息等流域数据底板, 不断优化洪水预报模型, 提升预报、预警、预演、预案“四预”能力, 从而提高恩施城区洪水预测预警预报精度和预见期, 为恩施市城市防洪抗灾减灾指挥决策及最大限度保障人民群众生命财产安全和降低洪水灾害造成的损失提供了可靠技术支持, 顺应了社会发展对洪水预报服务水旱灾害防御工作的需要。

关键词

数字孪生技术; 洪水预报系统; 应用; 思考

1 引言

水文是防汛抗旱指挥决策的耳目和参谋, 水雨情信息是关键和基础, 洪水预测预报预警则是保障。防汛抗旱指挥决策如果缺少准确及时的洪水预报支撑, 就不能实现科学有效的指挥调度。恩施城区洪水预报系统在实时江河水库水雨

情信息基础上, 根据天气变化情况和水文情势对未来水情趋势开展分析研判, 为防汛抗旱指挥决策调度以及组织抢险救援等提供了科学依据。例如, 2020年7月17日在防御恩施城区近50年一遇洪水中, 恩施州水文局自7月17日8时发布洪水蓝色预警, 9时升级发布洪水黄色预警, 12时升级发布洪水橙色预警。恩施州防汛抗旱指挥部根据恩施州水文局发布的洪水预警和洪水预报成果, 不断调整防汛应急响应级别, 自16:30起将恩施市城市防洪应急响应由II级提升为I级。17日17时40分清江恩施水文站河段出现洪峰水位418.54m(相应洪峰流量3670m³/s), 洪峰预见期为6h, 流量误差0.5%, 时间误差20min, 为应急转移3万余群众争

【作者简介】陈好山(1976-), 男, 中国湖北恩施人, 本科, 高级工程师, 从事水文水资源监测、水文情报预报、水文规划计划、水资源调查评价、水库调度、水文工程建设管理等研究。

取到了3h宝贵时间,减少了人民群众生命财产损失。

2 恩施水文洪水预报系统

“十一五”至“十二五”期间,恩施水文水雨情测报系统实现了雨情、水情、墒情数据自动采集、传输、入库和检索,通过恩施水文网、恩施水文微信公众号实时共享给各级党委政府、防汛抗旱指挥机构及社会公众。

2.1 洪水预报现状

恩施城区恩施水文站上游大龙潭、喻家河、云龙河水库洪水预报均利用实测水文资料采用API预报模型编制。自开展洪水预测预警预报以来,恩施城区及大等水库洪水预报合格率达到90.5%以上。恩施州(市)党委政府通过洪水预报成果调度大龙潭、喻家河水库,减少了水库自身及下游恩施城区防洪安全风险,为恩施城区防洪保安提供了技术支撑。通过水库发电效益比较分析,在实行水库洪水预报调度后,水电企业经济效益年平均增效7.8%左右,丰水年增效更为明显。

2.2 洪水预报能力不足

2.2.1 站点密度不够

清江干流恩施城区以上流域共设立降水、水位、蒸发、墒情等各类站点38处,降水量站网密度为 $200\text{km}^2/\text{站}$,水文站网密度为 $500\text{km}^2/\text{站}$,但还存在部分区域站网集中、代表性不强、分布不均匀、空白站等问题(见图1)。同时由于清江上游地区为二高山、高山地区,汛期经常性会发生小范围短历时强对流天气,由于存在监测盲区,因而无法实时准确监控掌握全流域水雨情。例如,恩施市城区内还缺少内涝等城市水文监测站网等。流域水系及水文站网分布见图1。

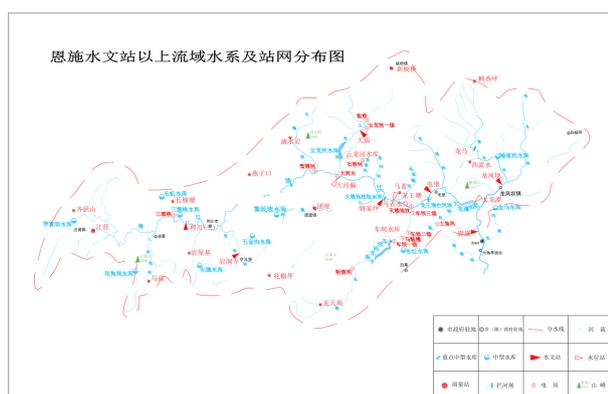


图1 恩施水文站以上流域水系图及水文站网分布图

2.2.2 备用通讯信道不足

恩施市地处山区,受移动基站数量及分布影响,部分水雨情监测站传输信号中断不畅通现象时有发生,在防汛关键时期会影响洪水预测预报预警工作开展,缺乏备用通讯信道。

2.2.3 下垫面因素影响

流域内建有大龙潭、喻家河、云龙河、车坝河等大中型

水库,水库的修建改变了下垫面特性,对气候、降雨及径流等产生了显著影响。通过对近50年降水、径流资料分析,发现地表径流变化在气候变化和人类活动两大因素的共同驱动作用下,不同年份间径流量变化受到年际降水的影响,降水较少的年份与降水较多的年份相比,人类活动对地表径流变化的影响明显提高。这充分说明人类修建的水库、闸坝等水利设施等对地表径流的年内分配也起到一定的调节作用^[1]。

2.2.4 预报模型局限影响

恩施城区洪水预报系统采用API模型,无其他模型相互验证和补充。由于API模型是采用过去实测水文资料进行分析率定,对实时水雨情资料要求较高,同时由于下垫面情况复杂,往往需要预测预报人员经验干预,可靠性和准确性有时难以满足社会公众要求。主要问题表现为:无控制站网区间的产汇流计算不够精准、预报方案参数均值化、预报精度和预见期无法实现零失误、智慧化水平不高、四预功能不齐全等。

2.2.5 水库调蓄影响

恩施城区洪水预报系统以恩施水文站为参证站。恩施水文站以上流域建有云龙河、大龙潭等4个水库。洪水预报作业时需实时掌握上游水库的拦蓄、发电及泄洪等信息,在实际洪水预报作业中上游水库实时调度和联合调度等信息的自动获取还无法实现,需要预报人员电话联系,信息获取存在滞后性。

3 数字孪生技术

数字孪生是指在数字世界中建立与物理实体的性能完全一致,且可对其进行实时仿真的模型。原理是利用安装在真实系统上的传感器数据作为该仿真模型的边界条件,实现数字孪生体与物理实体的同步和闭环关系。数字孪生水利工程是指在数字空间虚拟再现真实水利工程的复杂系统,主要包含防灾减灾、水量调度、水利工程运行与管理等方面^[2],特别是防灾减灾是数字孪生水利工程的首要目标。

数字孪生技术支持流域洪水的模拟推演和智能决策。根据防洪形势,在数字流域中利用数字流域模拟系统分析不同的降雨条件下和不同调度控制条件下的洪水影响情况(如淹没面积、淹没范围、影响人口等),根据影响程度和效果通过智能化决策选择最优调度方案,实现流域洪水调度“虚拟模拟先行,决策调度在后”,极大提高指挥决策的科学性。在数字流域中可以利用洪水趋势预测数据(如降雨数值预报)进行超前的洪水推演,防汛抗旱指挥机构对可能出现的洪涝灾害可提前采取应对措施,从而最大限度地避免洪灾带来的损失^[3]。

4 洪水预报数字孪生

推进数字孪生流域建设是适应现代信息技术发展形势的必然要求^[4],是强化流域治理管理的迫切要求。加快推进数字孪生流域建设,可强化水情预报、预警、预演、预案功

能。数字孪生支持地理信息系统,通过丰富的可视化手段,对各流域河流、水库等要素的位置、范围、状态、径流组成等要素信息进行直观展示。数字孪生对河道水位、河道流量、流速、水库水位、出入库流量等数据指标变化态势进行实时监测分析,对异常态势进行实时预警告警,为防汛抗旱减灾、突发水事件应急处置等业务决策提供有力支撑。

4.1 引入数字孪生技术必要性

恩施城区洪水预报系统未考虑地理信息系统,因而无法实现信息化、自动化及成果展示。在洪水预报系统中引入数字孪生技术,开发实时洪水预报防洪调度决策支持系统,实现雨情、水情资料的采集,传输,预处理,预测预报,调度的自动化(即联机实时洪水预报调度系统),是当前洪水预报系统的发展方向^[5]。

恩施洪水预报系统作为防汛抗旱指挥决策依据的技术支撑,必须快速融入信息化、地理信息系统化,构建从基础的水雨情信息采集、数据传输、数据整编处理、三维建模、孪生场景与调度分析等调度全过程数字化的应用体系。以物联网为技术支撑,通过地形图、无人机、GIS、移动终端等软硬件采集有效的水雨情数据,通过4G、5G网络、卫星等实现数据的实时传输。以水雨情监测数据的整编、处理计算分析、工程及流域三维建模分析、数字孪生场景展示等为主要内容,充分挖掘水雨情信息在数字孪生场景中的展示和应用^[6]。通过数字高程模型(DEM)及土地、土壤、植被等数字信息,使用GIS技术手段,结合倾斜摄影、数值仿真、实景建模等技术手段,实现在计算机三维视图中实时展示及预报水位、流量等数据展示,联动气象、地灾(自规)、城市管理等部门,实现洪水模拟可视化、实时化(见图2洪水模拟数字化场景展示),通过短信等有效通信方式将预警信息推送至受影响群众。

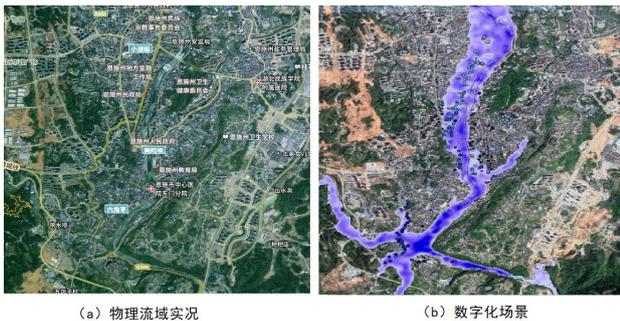


图2 恩施城区洪水模拟数字化场景展示图

4.2 措施

4.2.1 夯实流域数据底板

在恩施城区上游大峡谷无资料和少资料地区加密建设水雨情监测站点,利用卫星、多普勒雷达等遥感手段反面面

雨量。采用高分卫星遥感影像解译或无人机航拍及高精度倾斜摄影获取河道地形与大断面、地形地貌和土地利用等资料。加强与气象、水利、农业、国土等不同行业、部门的信息共享,提高数据支撑体系。

4.2.2 完善洪水预报模型

结合清江上游流域实际,分别采用降雨径流经验相关法(API)、新安江模型、分布式水文模型、坦克模型等模型进行洪水预报模拟,选择出合适的洪水预报模型,并通过实时校正、参数率定等措施完善洪水预报模型。基于人工智能的参数智能适配方法,根据模型参数,计算出精准的洪水过程。根据水文气象预报成果和流域防洪形势分析,提高预报的客观化水平,实现智能化模拟预报;引入图像识别等技术,提出暴雨洪水特征指标体系和规范化计量方法,准确刻画暴雨洪水特征指标,由预见期降雨智能预报出相似洪水过程。

4.2.3 着力构建“四预”功能

基于短中长期相结合、水文气象耦合、预报调度互馈的技术思路,构建流域水文模拟预报引擎,集成“四预”数字孪生平台。强化预报、预警、预演、预案“四预”措施,加强实时水雨情信息的监测和分析研判,开展水工程调度模拟预演,细化完善恩施江河洪水调度方案和超标洪水防御预案。

5 结语

数字孪生技术支持清江上游流域恩施城区洪水的模拟推演和智能决策,在数字流域中可以利用水情趋势预测数据进行恩施城区洪水推演,提高了洪水预测预警预报的智能化、数字化、可视化。把数字孪生技术引入恩施城区洪水预报系统中,可直观监测各流域、水库、超警站点等要素的分布、状态等信息,还可对各种异常情况进行可视化预警告警,为恩施市城市防洪指挥决策以及洪灾风险评估等工作提供技术支撑。

参考文献

- [1] 田义超,王世杰,白晓永,等.桐梓河流域径流对气候和人类活动的响应[J].水土保持研究,2020,27(3):7.
- [2] 韦凤年,唐瑾,陈刚.信息化建设为构架“三条黄河”作支撑[J].中国水利,2004(9):26-30.
- [3] 陈胜,刘昌军,李京兵,等.防洪“四预”数字孪生技术及应用研究[J].中国防汛抗旱,2022,32(6).
- [4] 评论员.加快推进数字孪生流域建设[N].中国水利报,2022-6-23.
- [5] 李爱云.盘石头水库洪水预报系统的开发研究[D].太原:太原理工大学,2004.
- [6] 王洪娜.数字孪生技术在水库防洪调度过程中的应用[J].科技资讯,2022,20(16).