

DOI: 10.19364/j.1674-9405.2024.06.006

数字孪生飞云江流域防洪“四预”应用建设研究

陈智洋¹, 李春晋², 任明磊³, 赵丽平³, 夏志昌¹, 李昶¹, 庄义琳¹

(1. 温州市水旱灾害防御中心, 浙江 温州 325000; 2. 温州市水文管理中心, 浙江 温州 325000; 3. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要: 飞云江作为浙江独流入海的主要江河之一, 易发生流域性大洪水, 针对飞云江流域洪涝潮灾害防御工作中存在的信息共享不充分、洪水预报调度能力不足、工程联合调度能力不强等难点痛点, 开展数字孪生飞云江流域防洪“四预”应用建设研究。通过搭建多源数据融合、统一治理的数据底板, 构建降雨—产流—汇流—演进—风险研判全流域洪水耦合模型, 研发以历史暴雨洪水为核心的知识平台, 打造飞云江流域防洪“四预”应用。在防御2023年“杜苏芮”等台风暴雨期间, 滚动开展洪水预报, 及时发布预警, 实现多种调度方案预演, 快速形成处置预案, 打通防洪减灾工作各个环节, 实现由经验防御向智慧防御转变, 为沿海地区独流入海数字孪生流域防洪应用建设提供先行示范。

关键词: 数字孪生流域; 防洪“四预”; 预报调度一体化; 飞云江流域

中图分类号: TV87; TP391.98

文献标识码: A

文章编号: 1674-9405(2024)06-0035-06

0 引言

智慧水利是水利高质量发展的显著标志, 数字孪生流域是智慧水利建设的核心与关键。2021年6月水利部提出“加快构建具有预报、预警、预演、预案功能的智慧水利体系”, 数字孪生流域首次正式提出^[1]。2022年2月水利部启动数字孪生流域建设先行先试工作, 并印发《关于开展数字孪生流域建设先行先试工作的通知》, 为新时代水利高质量发展提供强力支撑^[2-3]。

飞云江流域是浙江省八大水系之一, 位于浙江省南部, 流经景宁县、泰顺县、文成县和瑞安市后注入东海, 全长为203 km, 总流域面积为3 719 km²。支流呈羽状排列, 右岸除洪口溪外, 无较大支流汇入, 左岸有岙作口溪、泗溪、玉泉溪、金潮港汇入。河口潮差大, 潮流强, 属强潮河口。流域内建有1座大型水库、7座中型水库, 其中大型水库珊溪水库控制流域面积为1 529 km², 占流域总面积的47%, 是飞云江干流控制性水利工程^[4]。作为浙江独流入海的主要江河之一, 受特殊的地理条件和台风暴雨共同影响, 飞云江流域极易发生流域性大洪水, 流域中下游洪涝灾害严重, 防汛防台工作形势严峻。

独流入海河流上游洪水峰高量大, 下游受潮水顶托影响, 预报调度难度大。针对飞云江流域复杂的自然地理条件和流域防洪减灾工作难题, 温州市在工程措施的基础上, 持续推进信息化建设, 在感知体系、监测系统、预报模型等方面取得一定成效, 但与数字孪生流域的要求相比, 仍存在感知体系不够全面、预报结果不够精准、业务流程分散、预演功能不足等问题。为此, 温州市谋划数字孪生飞云江流域防洪“四预”应用场景, 聚焦暴雨、洪水、风暴潮等风险, 打造跨区域、部门、业务场景, 实现气象预报—洪水预报—工程调度—风险研判—风险提示—信息反馈的防汛全链条一体化融合, 以数字化手段打通预报、预警、预演、预案“四预”措施, 提升温州市水旱灾害防御的数字化和智能化水平。

1 建设现状

1.1 建设基础

1.1.1 感知体系

截至2023年12月底, 飞云江流域内共有国家基本水文测站35个, 遥测雨量站541个, 站网密度达到1站/7 km²。流域范围内建有143座大中小型水库(其中大中型水库8座), 建成水库水位监测站143个, 实

收稿日期: 2024-01-02

基金项目: 浙江省水利科技计划项目(RB2204, RC2464)

作者简介: 陈智洋(1984—), 男, 浙江永康人, 高级工程师, 研究方向为水利信息化、水文情报预报。E-mail: 81463983@qq.com

通信作者: 李春晋(1972—), 男, 天津人, 高级工程师, 研究方向为水文与水资源。E-mail: wz_lcj@163.com

现水库水位在线监测全覆盖；建有河道水（潮）位站 116 个，基本覆盖干支流汇合口、防洪关注点等重要断面。在视频监控方面，143 座大中小型水库全部实现实时视频监控。

1.1.2 信息系统

目前飞云江流域已建成并投入使用多个水利信息化业务应用系统，覆盖水文、防汛、政务管理、工程运行管理、河道管理等业务，主要有山洪灾害预警平台、温瑞平水系工程标准化管理平台、珊溪水库综合管理系统、水情综合服务系统、洪水风险图管理系统、河长制管理信息系统等。

1.2 问题分析

目前，飞云江流域洪涝潮灾害防御工作中存在以下问题：

1) 信息共享不充分。现有数据资源和应用系统融合度不足，用于灾害风险计算分析研判的气象预报、洪水预报、重点关注对象等相关数据分散在不同部门，数据尚未实现全面贯通，存在信息、应用孤岛，飞云江流域信息化建设尚未实现协同联动。

2) 洪水预报调度能力不足。流域内暴雨洪水陡涨、陡落，成灾机理复杂，洪水风险预报精准度不够，洪水预见期较短。在现有防汛工作模式下，预报与调度互相独立，洪水调度及演进计算尚未实现联动。

3) 流域联合预报调度能力不强。流域洪水预报调度以单个断面成果为主，表现形式单一，尚未实现动态立体呈现场次洪水过程。流域干支流、左右岸堤防及保护区实时风险情况尚未实现综合研判。

2 建设内容

按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”要求，基于信创环境，以浙江水利一张图为基础、物理实体飞云江流域为单元、时空数据为底座、水利模型与知识为驱动，通过有序汇集融合多源数据，形成流域—干流—支流—断面及重要水利工程节点的全链条映射关联，构建降雨—产流—汇流—演进全过程精准决策分析体系，延长洪水预报期，实现多工程联合调度^[5]。通过构建飞云江流域防洪“四预”平台，重塑风险识别、预警、管控闭环及各部门各层级联动机制，提升洪涝潮灾害研判处置能力^[6]。

2.1 数据底板

2.1.1 数据资源

以统一汇聚、治理、服务为目标，构建基础数据统一、监测数据汇聚、二三维一体化、跨层级跨业务的

数据底板^[7]。截至 2023 年 12 月底，通过省级回流、市级共享、县级汇聚等方式，数据底板汇聚基础数据 158 类 198 万条，实时监测数据 37 类 6.9 亿条，业务数据 115 万条，卫星影像数据 20 类 115 GB，视频链路 800 余路，自然资源与规划（以下简称资规）局、综合执法局、气象局等其他涉水数据 13 万条。

数据底板主要内容如下：

1) 水利行业数据。基础数据方面收集了飞云江流域内水库、水闸、海塘、山洪防御村落等基础信息，以及历史洪灾资料、山洪灾害调查评价资料、飞云江干流及主要支流大断面分布、近海水下地形等数据。实时数据方面收集了雨量、河道和水库水位、潮位等监测数据，以及防汛巡查、风险处置、水利工程调度、应急预案管理等数据。

2) 跨行业数据。依托浙江省一体化智能化公共数据平台（IRS），汇聚资规、应急、气象等跨部门跨行业数据（包括地质灾害隐患点、社会经济等数据），同步共享市气象局天气雷达测雨成果，动态接入未来 1, 3, 24 和 72 h 网格降雨预报数据。

3) 地理空间数据。通过市资规部门收集飞云江流域内瑞安市、文成县和泰顺县三地的地理空间数据，构建飞云江流域 30 m 精度数字高程模型和 1 m 精度数字正射影像图的 L1 级数据底板；通过无人机倾斜摄影，构建飞云江干流沿线 80 km 范围 5 cm 精度的 L2 级数据底板；构建 L3 级重要实体场景数据底板，主要包括瑞安金潮港流域易涝区、珊溪水库、赵山渡水库、南码道闸等重点水利工程场景数据。此外，还收集 12 幅温州市近海海图，用于计算沿海风暴潮的潮位过程。

2.1.2 数据治理

为提高数据的及时性、完整性和准确性，通过制定数据治理规则和管理办法，构建数据全面归集、质量提升和融合集成的精准化数治路径。具体数据治理规则、路径和制度分析如下：

1) 治理规则。基于《浙江省水管理平台统一数据建设指南》《水利工程基础数据字典》《浙水安澜统一数据建设指南》《全省水文数据治理规则 V1.0》等标准规范，结合温州市业务应用实际，制定 134 项数据检查规则，从非空、非法值、数据格式、业务逻辑、更新频次等检核角度，对每日增量数据进行定期检查，对存在越界、缺失、跳变等异常状态的数据进行处理，保障数据的准确性和实时性。

2) 治理路径。对各类数据资源进行责任人关联

和治理规则配置。利用数据规则对数据“汇—通—管—用”等关键环节进行定期检查,构建 1 套发现问题—数据处理—超时预警—复盘考核的工单化流程,形成数据维护—数据审核—预警考核的责任闭环体系,保障数据仓数据质量稳步提升。

3) 治理制度。制定《数字孪生飞云江数据底板管理暂行办法》,按照“统筹规划、分级建设、统一管理、按职维护、共建共享、安全可靠”原则,规范水利数据生产、更新、汇集、共享、应用等各个环节工作要求,明确数据各级生产、管理、使用单位工作职责,协同推进水利数据治理工作,保障各类数据的可靠性、准确性和完整性。

2.2 模型平台

水利专业模型是数字孪生流域建设的核心内容,是开展孪生流域“四预”应用研究的关键环节。为便于模型的共建共享,采用模块化封装、微服务接口方

式,实现计算过程中模型与业务应用系统之间的数据交互。各模型采用统一规范和标准体系,保证模型与业务应用系统之间高质量、无缝隙、高可靠协同工作。根据飞云江流域特点,构建以下 5 个模型:

1) 水文模型。针对飞云江干支流出口、泗溪、河岙等 5 个重要断面,以及珊溪、三插溪、仙居等 8 座大中型水库,构建分布式新安江模型,根据实测径流、降雨及蒸发数据,在合理分区的基础上编制各断面预报方案,采用系统响应参数优化方法进行模型参数的优化率定,有实测流量资料的 8 座大中型水库和出口断面模拟精度合格率均达到 89% 以上。对 2000 年以来 20 余场洪水进行拟合分析,其中三插溪水库模型模拟结果如表 1 所示。由于三插溪水库入库流量依据水量平衡公式反推得到,流量过程线易出现锯齿状,故本研究中的三插溪水库预报方案精度评定不考虑流量过程拟合程度,重点考虑径流深和洪峰模拟误差。

表 1 三插溪水库模型模拟结果

洪号	降雨量/mm	实测径流深/ mm	计算径流深/ mm	径流深相对 误差/%	实测洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	计算洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	洪峰流量相对 误差/%	是否合格
20090809	225.6	148.2	148.7	0.3	385	356	-8.1	是
20100415	41.2	42.1	39.5	-6.2	131	85	-55.2	否
20100514	107.8	64.1	51.6	-19.2	112	111	-1.5	是
20110416	90.6	32.4	36.7	13.4	101	96	-4.5	是
20110613	60.3	27.5	28.8	4.8	69	60	-15.9	是
20110831	151.4	112.8	107.7	-4.5	131	146	10.3	是
20120624	213.9	147.4	131.0	-11.1	87	93	7.0	是
20120804	165.8	132.8	119.5	-10.0	95	109	12.6	是
20130822	162.3	35.3	37.4	6.0	185	195	5.6	是
20131007	167.9	97.0	78.8	-18.8	323	334	3.2	是
20140724	186.1	104.8	118.5	13.2	309	368	16.0	是
20140922	83.3	88.6	79.4	-10.4	77	94	17.6	是
20150809	416.8	299.7	297.7	-0.7	1 506	1 430	-5.3	是
20150813	112.9	117.3	122.9	4.7	774	769	-0.6	是
20160915	224.0	147.9	162.6	9.9	1 156	1 048	-10.3	是
20160928	355.8	294.4	276.5	-6.1	1 162	812	-43.2	否
20170608	65.9	49.7	58.7	18.3	101	96	-5.6	是
20170705	53.8	44.6	45.1	1.2	288	346	16.7	是
20170801	141.6	77.1	75.9	-1.6	226	244	7.3	是
20180606	208.8	99.3	83.3	-16.1	114	139	17.8	是
20190623	105.2	51.9	44.6	-14.1	91	97	6.3	是
20190817	58.9	39.4	36.8	-6.7	115	133	13.3	是
平均值	154.5	102.5	99.2	-2.5	342.6	325.5	-0.7	

由表 1 可知:径流深相对误差平均值为 -2.5%,洪峰流量相对误差平均值为 -0.7%;径流深和洪峰模拟误差有正有负,没有出现系统性偏差;22 场洪水中,20 场洪水的洪峰、径流深模拟合格,2 场洪水不合格(洪号为 20100415 和 20160928),合格率达到

91%。按照 GB/T 22482—2008《水文情报预报规范》^[8]规定合格率大于等于 85%,精度评定为甲等,模型模拟合格率达到甲等水平。

2) 水库调度模型。对飞云江流域 8 座大中型水库,构建指令、泄量控制、水位控制、规则 4 种水库调

度模式；对珊溪、赵山渡及百丈漈 3 座大中型水库，构建防洪联合调度模型，通过设定下游马屿断面安全泄量逆向反推上游水库调度方式，并自动更新赵山渡水库坝址以下至入海口各个断面的预报结果，实现重要控制断面基于风险控制的预报调度逆向智能推荐。2016 年台风“鲑鱼”期间，联合调度方案比实际调度少动用 3 054.5 万 m^3 防洪库容，下游出口断面流量峰值较实测流量降低 399 m^3/s ，且低于安全流量 3 380 m^3/s 。联合优化调度方案不仅降低了当前洪水的风险，还为迎战下一场洪水预留了防洪库容。

3) 一维水动力模型。对飞云江干流及主要支流建立一维水动力模型，建模范围设定如下：干流（珊溪水库坝下一入海口），实测河道总长约为 67.1 km，共有 79 个断面，断面平均间距约为 1 000 m；金潮港（河岙一干流汇口），实测河道总长约为 18.9 km，共有 67 个断面，断面间距约为 300 m；林溪（林溪水库坝址—林溪金潮港交汇口），实测河道总长约为 3.5 km，共有 12 个断面，断面间距约为 300 m。上边界条件为珊溪、赵山渡、林溪等水库调蓄后的下泄流量，下边界为入海口潮位实测或预报过程。

4) 二维水动力模型。为更精确地模拟飞云江流域各片区的洪水淹没情况，开展二维水动力模型建模，建模范围主要为赵山渡水库坝址以下至入海口，以及金潮港、平阳坑等低洼区域，如图 1 所示。为精细化模拟河道左右两岸的水流情况且不增加模型运算负担，模型采用变尺度网格划分方法，靠近河流网格平均尺寸为 30 m，外围网格平均尺寸为 120 m，共划分 9.4 万个网格。如果河道洪水出现漫堤，则启动一二维水动力耦合模型，实现漫堤之后的洪水淹没分析计算，实时动态展示淹没范围（面积）、水深（水位）、历时等信息。



图 1 二维水动力模型建模范围

5) 风暴潮模型。采用 ADCIRC (Advanced Circulation Model) 海洋风暴潮模式，构建涵盖温州沿海的风暴潮预报模型，实时滚动开展沿海河口水位预

报计算，提供沿线任意点位的预报潮位过程。风暴潮模型外海边界距离温州海岸线 500 km 左右，非结构网格的分辨率由外海的 9 km 逐渐过渡到温州重点区域的 100 m 以内。2023 年台风“卡努”期间，瑞安市水文站风暴潮模型计算潮位和实测潮位对比结果如图 2 所示，结果显示：实测潮位与模拟潮位的过程线相位相符，最高潮位出现的时间与实测值完全相同，且二维风暴潮模型计算与实测的最高潮位绝对误差控制在 30 cm 以内，基本满足海塘防潮风险研判需求。

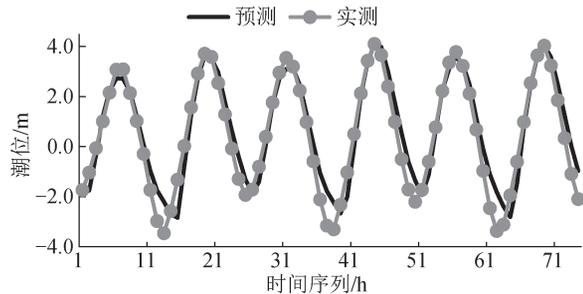


图 2 瑞安市水文站风暴潮模型计算潮位和实测潮位对比结果

2.3 知识平台

2.3.1 知识库

本研究知识库主要围绕以下 2 个库建设^[9]：

1) 历史洪灾库。受台风影响飞云江流域易发生流域性大洪水。本研究以 1960 年以来影响飞云江流域的台风为主线，全面梳理历史典型洪水的雨情、水情、风情，预报洪水及潮位过程，洪水调度和灾害应对处置等，选择关键控制断面（站点）总结分析洪水特征值指标参数（包括降雨起始和结束时间、过程降雨量、起涨水位和流量、洪峰水位和流量、最大潮位等参数），形成历史典型洪水场景库。

2) 水利工程调度规则库。全面梳理流域内重要水利工程（主要为珊溪、赵山渡、百丈漈等 8 座大中型水库）涉及的调度规则和方案，以及相关业务法律法规、规章制度、技术标准、管理办法、规范规程等，全面收集整理 2000 年以来温州市各级防汛部门在防汛防台期间工作部署、决策指挥的全过程信息，对文本数据进行逻辑化、数字化表达和结构化存储，形成包含水利工程调度、专家经验、领导决策等信息的水利工程调度规则库。

2.3.2 知识应用

知识应用主要包括以下 2 个方面：

1) 相似事件智能推荐。对当前台风、降雨特征进行数字化表达并提取相应特征参数，通过相似性匹

配,快速推荐历史最相似台风、降雨事件。根据匹配结果,提取对应的历史洪涝灾害实况、工程调度、风险隐患、应对措施等作为决策部署的参考依据。

2) 知识搜索。提供全量水利知识搜索功能,根据用户输入的词语确认用户的真正意图,根据查询意图和水利匹配模型对候选的答案进行排序,再结合水利业务规则,输出排名最高的答案,同时展示被搜索实体关联的知识图谱。

3 防洪“四预”平台

飞云江流域防洪“四预”平台针对不同用户,开发了业务端、会商端、移动端,适应不同场景的应用需求。

3.1 业务端

业务端主要面向预报调度专家,重点围绕风险研判、预报调度、预警发布和预案制定等方面开展水旱灾害防御业务,核心为预报调度。根据飞云江流域的暴雨洪水特征,以分布式、一二维、水文水动力、预报调度、洪潮等耦合的一体化模拟模型为核心,实现流域预报调度一体化。系统开发了以下3种预报调度模式:

1) 自动预报调度模式。根据气象部门未来72 h 网格预报降雨数据,滚动开展飞云江全流域洪水演算,提前3 d 预报飞云江流域8座大中型水库、255个干支流断面、12个潮位站和20处海塘堤防的水位情况,为科学防汛提供重要支撑。

2) 作业预报模式。作业预报模式主要面向行业专家,对每个预报断面进行边界条件、初始条件、模型参数的设置和调整。对流域内大中型水库的出入库数据进行人工复核修正,设置人工上报的水库泄洪数据;结合实际分析需求,设置不同的上边界和下边界,如历史降雨、历史洪水、设计暴雨、设计潮位等。

3) 联合预报调度模式。通过设定下游马屿断面安全泄量,逆向反推上游水库调度方式,对珊溪、百丈漈、赵山渡3座大中型水库开展联合调度方案比选,实现防洪效益最大化。

3.2 会商端

会商端主要用于流域防洪形势的会商研判,快速、直观、准确地呈现预报调度方案,制定最优的决策方案。会商端按照防洪“四预”思路,对业务端计算完成的方案进行成果梳理和提炼。将计算方案概化图、剖面图、风险图、风险清单等成果进行多重组合,结合实时与预报、局部与整体、二维与三维、动态与静态等方式,从不同维度、角度动态预演流域暴雨洪水发展形势,直观呈现“降雨在哪里、洪水在哪里、风险在哪里”。

3.3 移动端

移动端主要面向温州市防汛防台参与人员,主要分为实时雨情、水库水情、实时台风、潮位监测、山洪预警等模块,通过移动端可实时掌握飞云江流域内当前降雨分布和水库水位情况,及时获取雨量超警、水库超汛、江河超警、山洪预警等信息。

4 应用成效

2023年7月21日5号台风“杜苏芮”生成,28日在福建晋江沿海登陆。受台风外围影响,飞云江流域内的文成县、泰顺县、瑞安市普降大雨。在防御台风“杜苏芮”期间,数字孪生飞云江流域防洪“四预”主要应用成效如下:

1) 分析研判。7月23日14时,台风“杜苏芮”逼近48 h 警戒线,气象部门预报台风将在福建福清至广东惠来一带登陆。知识平台根据预测的台风路径、登陆点、生成时间等要素,智能筛选1960年以来影响温州的最相似台风——2016年台风“莫兰蒂”。台风“莫兰蒂”过程降雨量为225 mm,飞云江干流岙口水文站洪峰超过保证水位,直接经济损失达45.27亿元。以台风“莫兰蒂”的雨情、水情、工情和灾情为依据,提前发布风险提示单,要求各地重点关注因强降雨引发的流域洪水和小流域山洪,提前开展水库河网预泄、预排工作。

2) 预报预警。7月26日14时,台风“杜苏芮”进入24 h 警戒线,受台风外围影响,飞云江流域出现降雨。为精细分析洪水演进过程,调度专家组立即开展流域洪水作业预报调度计算。预报调度成效如下:预报26日瑞安站最高潮位达到2.41 m,实测最高潮位为2.38 m,误差为0.03 m;预报珊溪水库入库洪峰流量为2 237 m³/s,洪峰水位为137.57 m,实测入库洪峰流量为2 142 m³/s,洪峰水位为137.34 m,峰现误差为4.2%;预见期由原来的3 h 延长至24 h,根据流域内255个预报断面结果,实时研判飞云江沿线水库、堤防、海塘及低洼区风险,形成风险预警五色图。通过“一张提示单、一条信息、一个电话”,递进式通知各级防汛责任人,做到预警快速应对。台风“杜苏芮”期间,运用“四预”平台向县级发布山洪灾害风险提示单19期,发送山洪灾害预警短信6.4万条,对触发预警的127个村点对点电话“叫应叫醒”,提醒干部群众做好科学防御应对工作,全市无山洪灾害人员伤亡。

3) 预演预案。7月28日8时,台风“杜苏芮”逼近福建晋江,飞云江全流域出现降雨,且气象预报仍

有大暴雨。为统筹防洪与供水安全,防汛专家组逐小时开展珊溪、赵山渡、百丈漈等 8 座水库联合优化调度,并选取珊溪水库水位、岙口水文站水位和削峰率、马屿断面流量等关键指标进行方案优选。经模型计算,珊溪水库在不开闸泄洪情况下水位不超过汛限水位。考虑到珊溪水库为温州“大水缸”,经多方案比选,珊溪水库不开闸泄洪,水库库容增加近 1.9 亿 m^3 ,供水天数延长 100 余 d。在防御 2023 年“杜苏芮”等台风暴雨期间,滚动开展洪水预报,及时精准预警,实现多种方案调度预演,快速形成处置预案,打通防洪减灾工作的各个环节,实现经验防御向智慧防御转变,为独流入海数字孪生流域防洪应用建设提供先行示范。

5 结语

本研究通过数字孪生飞云江流域建设,全面梳理雨水情监测感知体系,夯实数据底板,构建模型平台,探索知识平台,形成飞云江流域防洪“四预”体系,弥补了水利专业模型支撑不足的难题。经过 2023 年台风“杜苏芮”和“卡努”等灾害天气过程的实战检验,显著提升了飞云江流域水旱灾害防御决策支撑水平,为独流入海河流的洪潮涝灾害耦合分析提供了先行示范。后续将继续深化飞云江流域洪涝潮灾害演化机理研究,开展水下地形监测,优化模型参数,引入智能预报调度模型,迭代优化系统功能,持续

提高流域预报调度预演能力,实现数字孪生平台“算得全、算得准、算得快、看得清”。

参考文献:

- [1] 蔡阳.以数字孪生流域建设为核心 构建具有“四预”功能智慧水利体系[J].中国水利,2022(20):2-6,60.
- [2] 中华人民共和国水利部.水利部部署数字孪生流域建设工作[EB/OL].[2023-12-02].http://www.mwr.gov.cn/xw/slyw/202112/t20211223_1556623.html.
- [3] 蔡阳.数字孪生水利建设中应把握的重点和难点[J].水利信息化,2023(3):1-7.
- [4] 何正中,王玉铜,林灿文,等.飞云江数字孪生流域平台设计[J].中国科技信息,2022(24):108-113.
- [5] 张琪,任明磊,王凯,等.基于改进遗传算法的水库群防洪联合优化调度研究及其应用[J].中国防汛抗旱,2022,32(6):21-26.
- [6] 曹雪健,许金玉,戚友存.“三道防线”建设赋能城市洪水预报:内在机理和技术路径[J].水利发展研究,2024,24(8):24-30.
- [7] 刘业森,刘昌军,郝苗,等.面向防洪“四预”的数字孪生流域数据底板建设[J].中国防汛抗旱,2022,32(6):6-14.
- [8] 中华人民共和国水利部.水文情报预报规范:GB/T 22482—2008[S].北京:中国标准出版社,2008:5-7.
- [9] 刘昌军,刘业森,武甲庆,等.面向防洪“四预”的数字孪生流域知识平台建设探索[J].中国防汛抗旱,2023,33(3):34-41.

Research on construction of “Four Preventions” digital twin application for flood control in Feiyun River Basin

CHEN Zhiyang¹, LI Chunjin², REN Minglei³, ZHAO Liping³, XIA Zhichang¹, LI Chang¹, ZHUANG Yilin¹
(1. Wenzhou Flood and Drought Disaster Prevention Center, Wenzhou 325000, China; 2. Wenzhou Hydrological Management Center, Wenzhou 325000, China; 3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: The Feiyun River, one of Zhejiang’s major rivers flowing directly into the sea, is prone to large-scale basin floods. To address key challenges in flood and tidal disaster defense in the basin, including insufficient information sharing, inadequate flood forecasting and scheduling capabilities, and weak integrated engineering scheduling, this study explores the construction of a digital twin application for the “Four Preventions” in flood control. By developing a multi-source data fusion platform with unified governance, the study establishes a comprehensive flood coupling model spanning “rainfall–runoff generation–flow concentration–evolution–risk assessment”. A knowledge platform centered on historical storm and flood events was created to support the implementation of the “Four Preventions” in the Feiyun River Basin. During the response to Typhoon Doksuri in 2023, rolling flood forecasts were conducted, warnings were issued promptly, multiple scheduling scenarios were simulated, and contingency plans were rapidly devised, streamlining all aspects of flood control and disaster reduction. This marked a shift from “experience-based defense” to “intelligent defense”, providing a pioneering demonstration for constructing digital twin flood control applications in coastal river basins flowing directly into the sea.

Key words: digital twin basin; “Four Preventions” for flood control; integrated forecast-scheduling; Feiyun River Basin

(责任编辑:陆燕)