

闸坝控制感潮河道洪水位预报方法探讨

杨 逸, 陈 艳, 刘建生

(江苏省水文水资源勘测局南通分局, 江苏 南通 206006)

摘要:针对闸坝控制感潮河道洪水位预报,应用雨洪定律的计算方法,从雨洪期间各时段降水量开始,按时序演算转化为入河虚拟断面流量,并建立水位-虚拟流量关系,由涨水之初水位及虚拟流量反推洪水位及涨水过程。研究方法简单便捷,预报快速高效,在闸坝控制感潮河道洪水位预报中具有一定的应用意义。

关键词:净雨计算;雨洪分析;虚拟流量;洪水预报

中图分类号:TV12

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2024)11-0062-0003

Discussion on the prediction method of flood level of tide rivers controlled by sluice and dam

YANG Yi, CHEN Yan, LIU Jiansheng

(Nantong Branch of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau,
Nantong 206006, China)

Abstract: For the prediction of flood level in tidal rivers controlled by gates and dams, the calculation method of rain and flood laws is applied. Starting from the rainfall during each period of the rain and flood period, the time series calculation is converted into a virtual cross-sectional flow into the river, and a water level virtual flow relationship is established. The flood level and flood process are inferred from the initial water level and virtual flow during the flood. The research method is simple and convenient, with fast and efficient forecasting, and has certain application significance in the prediction of flood levels in tidal rivers controlled by gates and dams.

Key words: calculation of net rainfall; rain and flood analysis; virtual flow; flood forecasting

1 概 述

1.1 研究区域水系概况

启东市位于长江入海口左侧,南依长江,东邻黄海,西接海门市界,北以倒岸河为界,周边均有江海堤岸或界闸界坝分隔,区域集水面积约1 040 km²。境内陆域以平原为主,河道稠密,纵横交叉,各大小河网间均相通相连,在沿江沿海各主要河道出口处均建有挡潮涵闸,属于比较独立闭合的受闸坝控制

的感潮河网区域。区域内设置吕四(三和港北闸)、通启河闸、新港、启东(城区)、向阳、希士6处雨量站,三和港北闸(闸下)1处水位站。

1.2 感潮河道洪水排泄特点

区域内遇上暴雨产生洪水期间,洪水排泄的主要途径是依靠沿江沿海的各挡潮涵闸排江入海。排水时机受控于江海潮位涨落变化,当雨洪发生时刻正碰上江海潮位处于涨潮阶段且潮位已高于内河水位,挡潮闸关闭阻断内河洪水向外排泄,只能

收稿日期:2024-09-26

作者简介:杨逸(1985—),女,工程师,本科,主要从事水文水资源相关工作。E-mail:179680547@qq.com

囤蓄于各河网之中,不断抬升河道水位,可能会出现局部地区河满溢出而造成农田道路受淹,受控的感潮河道洪水间歇性排泄特点改变了洪水自下而上的畅流运动规律。

1.3 河道洪水水位预报方法

闸坝控制下的感潮河道洪水水位涨落变化,一是由区域内连遇降雨产生的净雨水体转化为洪水增量按时序汇聚于河道水域抬升水位;二是受河道出口端遇长江黄海处于高潮位阶段关闸断流,产生阶段性囤积内河滞水,造成河道蓄水位加速提升。因受控于涵闸的开启与关闭,水流基本无连续运动之规律是闸控感潮河道洪水预测预报的难点。本文基于实测水文资料数据,应用雨洪定律的计算方法探索闸控感潮河道水位随雨洪变化的预报。

2 水位预报基本思路

根据闸控感潮河道洪水运动特点,主要预测河道水位涨洪过程。预报的基本思路是应用雨洪定律的方法,测算出由各时段净雨水量入河转化为虚拟断面流量;利用区域内三和港北闸(闸下)水位,建立雨洪期间涨水位因子与虚拟流量的关系式;使用涨水之初水位及虚拟流量代入关系式反推洪水位及涨水过程水位,实施对河道洪水水位的预报。

3 雨洪定律计算方法

3.1 降雨产流计算模型与净雨量计算

3.1.1 降雨产流量计算模型选择

根据双衰曲线超渗产流模型适用条件,流域不分大小,区域不分干旱与湿润,虽然地表下垫面各有不同,但都存在着降水量生成径流的相似途径及水量配置平衡共性规律,均适用双衰曲线超渗产流模型计算净雨量^[1],即土壤蒸发与时间呈反比关系衰退曲线,土壤水补充量与降雨时间呈倒数关系衰退曲线。应用双衰曲线超渗产流模型计算土壤补充水量的适用性宽,操作简洁方便。因此,照启东地区的土壤干旱性能及适用环境条件,选择双衰曲线超渗产流模型计算产水量。

3.1.2 净雨量计算方法

按双衰曲线模型应用要求,建立本区域内土壤蒸发与时间序列的衰减曲线。因本区域内的蒸发及土壤含水量资料系列长度不能满足于专业建模分析所需,现直接应用相关消退曲线超渗产流模型的研究结论。假定在黏土区域,土壤中最大补充水量约需 200 mm,补充水时间需连续 50 h,土壤中含

水量基本处于饱和状态,之后的降水量基本上可以全部产流生成净雨。降雨期间的土壤补水曲线是条沿时间坐标不断衰减的函数曲线^[1]。依此结论,直接计算土壤补水参数 K ,然后采用试错法选择适用于本场降雨的补水曲线积分时间定义域,再分别计算各降雨时段的土壤补充水量 W 。各时段净雨量及产水量计算式为

$$P_{\text{净}} = P_{\text{毛}} - W \quad (1)$$

$$W = P_{\text{净}} F \quad (2)$$

式中: $P_{\text{净}}$ 为净雨量; $P_{\text{毛}}$ 为降水量; W 为产水量; F 为区域面积。

3.2 雨洪定律理论概述

雨洪定律的理论思路是根据等流时线原理^[2],在天然条件下,流域内的降雨时空分布均匀,时段降雨产生的净雨量由体积转化为独立洪水过程时,每个单峰流量过程分两部分组成。第一部分是涨水段流量,假定时段设置较短时,涨水流量近似于沿三角形斜边线性上涨,峰值流量为三角形的高;第二部分是退水段流量,与时间变量呈倒数关系。 N 个时段的净雨形成 N 个独立的洪水过程,按时序把各个独立洪水过程中,同时刻到达出流断面的流体叠加等于断面总流量,全流域同时刻到达出流断面的流体叠加最大值即为洪峰流量。这种从净雨转化生成洪水流量过程的规律称为雨洪定律^[3-4]。

3.3 应用雨洪定律的预报方法

3.3.1 设置虚拟断面流量

由雨洪定律研究结论可知,在不受人类活动影响下的天然河道中,洪水的形成及流动特点是流域面上任何地方的各时段净雨量都会按一定时序生成径流,就近入河汇流经出流断面形成一个完整的单峰流量过程。在同时刻到达出流断面的各单峰流量值叠加成为该时刻的断面总流量,把各时间点的出流断面流量按时序连线,组成一个时间-流量过程^[4]。本区域内河道属于受闸坝调控下运行的感潮河道,洪水的排泄过程是不连续的,原本自然出流的流量过程被转变为河道蓄水过程,连续的时间-流量过程缺失,对开展洪水水位预报造成难度。设想还原自然状态下洪水出流的时间-流量过程,并运用到受闸坝控制下感潮河道的洪水水位预报中,首次提出设置虚拟的类似于自然河道的时间-流量过程,称之为虚拟断面流量,简称虚拟流量。

3.3.2 建立水位-虚拟流量关系

设置虚拟流量的目的是考虑预测从时段净雨转化生成到河道水位之间,需要建立某些关系所必

需的中间桥梁。区域面上有实测的时段降水量资料,河道断面上有实测的时间-水位过程资料,但缺失时间-流量过程,阻断了从面雨量转化到河道水位之间的联系。现应用雨洪定律推流方法,通过时段降水量资料计算得到出流断面的时间-虚拟流量过程,并与断面实测的时间-水位过程连接起来,以时间为轴线建立同步的水位-虚拟流量关系。由此,可以直接从时段降水量开始,连续推算到河道涨水位过程,以达到预报运用之目的。

3.3.3 区域水位-虚拟流量关系

将三和港北闸(闸下)水位作为区域河道代表站水位,设置涨水期水位因子之间的线性关系模式,其计算式为

$$H_w^\alpha H_G^\beta = A_i Q_{\max} + B_i \quad (3)$$

式中: H_w 为涨水之初水位; H_G 为最高水位, Q_{\max} 为虚拟最大流量; α 、 β 为水位因子的指数; A_i 、 B_i 为流量的斜率和截距。

采用2015—2024年间14场降水量和相应的河道水位资料,经综合分析建立其关系模式,计算式为

$$H_w^{0.5} H_G^{1.5} = 0.004 Q_{\max} + 8.7849 \quad (4)$$

在预测应用时,用实测的 H_w 及设置的虚拟流量 Q_{\max} 直接反推 H_G ,采用同样的方法,应用涨水段各对应时间点的 Q_i 、 A_i 、 B_i 值,可以推算得各对应时间点的涨水位 H_i 。

4 应用与分析

4.1 土壤补水量积分区间

在预报方案编制过程中,对降雨时段内土壤补充水量计算时,因缺少本区域内土壤含水量资料的参考,不能直接确定土壤干旱指数。在选择土壤补水曲线积分区间时,结合对本场降雨后所产生的内河水位起涨变化为参考,经综合分析判断后而定,选择使测算的净雨生成的涨水流量与河道涨水位的变化保持基本同步的时间段区间。

4.2 设计洪水预见期

洪水预见期,指从产生时段净雨水量后,到发生时段峰值流量时刻的涨水历时长度,称为洪水预见期。洪水预见期原本是动态数,视雨情工况不同,各洪水涨水历时是有变动的。洪水预见期长短与降雨的强度有关,雨强量大洪水预见期短,洪水预见期与雨区位置有关,雨区偏远端点洪水预见期长。经综合梳理后,在本预报方案中确定洪水预见期为7 h。

4.3 涨水段洪水位预报

在闸坝控制下的河道洪水关键在于关闸断流期涨水位的变化,因此最高洪水位及涨水过程水位预报是编制重点。水位在回落期,一方面说明洪水可能已进入退水阶段;另一方面,因沿江沿海涵闸已开闸排涝降减了内河水位而回落,故退水段水位暂未研究。

在洪水的涨水段,受雨洪来水量的逐渐增大,各不同涨水时段的涨水流速流量是变化的,水位的涨率也随之变化。因此,在推求 H_i 时,公式中的 A_i 、 B_i 也应为变数。

4.4 预报精度分析与评价

4.4.1 预报精度分析

高水位预报方案中,分析2015—2024年共14场降雨洪水位资料,绝对误差 ≤ 0.10 m的12次合格率85.7%,最大误差0.11 m,确定性系数即洪水预报过程与实测过程的吻合程度为0.885。对照水文情报预报规范有关精度评定等级标准^[5],本方案的高水位预报合格率已达甲级,确定性系数也接近甲级。涨水过程预报共分析14场雨洪涨水过程,预测了每场洪水涨水段的8个点水位及第一个退水位共计126个点水位。其中,绝对误差 ≤ 0.10 m的有110个,合格率87.3%,达甲级;确定性系数0.875,达乙级,接近甲级。

4.4.2 误差原因分析

一是雨区分布不均匀,水位站位置偏边缘。例如2018年5月25日,本场降雨区分布在启东南部偏东地区,由于现水位站设在启东的西北边缘处,观测到的涨水过程与雨洪发生地存在延后,因而以此作为代表站水位产生的计算值与实测值存在偏离误差。

二是河道水位较低,在警戒水位3.20 m(吴淞基面)以下且降水量中等偏小时,三和港北闸仍有引上游水量入本区域,与本地雨洪水量产生叠加。因缺少详实的资料依据,使部分计算水位与实际水位的增量产生差距,误差值连续多时段。例如2024年7月11日,本场雨量48 mm,涨水之初水位2.96 m,雨洪中实测值为3.33 m,预测值为3.22 m,差值达0.11 m。

5 结 论

(1)应用雨洪定律进行闸坝控制感潮河道洪水位预报,理论依据可靠,操作方法简便,运算时效快

(下转第68页)

员加强自身对法规、技术规范的学习,夯实自身业务水平,在此基础上为涉水建设各方提供技术支持和行政指导;事中,及时掌握施工进度,对关键技术要求向建设各方进行解释,关键施工环节可开展旁站监管,有的放矢做好涉水项目监管服务;事后,加强验收指导,对照审批要求,开展现场查勘,辅以影像资料,为后续监管提供依据。

4.2.3 提高长江段格化巡查管理的质效

构建长江南京段共建、共治、共享巡查管理体系,通过打通部门之间的壁垒,促进跨部门的协作与创新,坚持政府主导、多元共治,鼓励引导市、区、街道、社区四级力量积极高效参与到长江河道保护中。做好督查指导,加强问题研判,优化处置方案,协调各方力量,实现对长江岸线的快速响应、分类处置、有效管控。

4.3 强化整体保护,积极开展岸线管控与修复研究

4.3.1 加强长江防洪保障能力

按照规范标准提升企业段干流堤防和洲堤,贯通长江堤防防汛通道,稳定长江南京段重要节点河势,对重点险工段、岸线整治河段、深槽贴岸段、桥梁工程建设段以及岸线清退河段等加强监测管理,并进行系统治理。

4.3.2 加强岸线管控与修复研究

立足于长江南京段岸线管理保护实际开展岸线管控与修复研究,解决长江岸线适宜开发利用强度、项目整治生态修复工作标准等方面问题,明确

岸线开发强度阈值,编制岸线生态修复技术规程,是贯彻落实长江保护法、强化河湖岸线保护与修复、复苏河湖生态环境的迫切要求,可为河湖岸线修复规划设计、技术论证、实施方案编制等提供有力的技术支撑。

4.3.3 提升岸线管理的信息化、现代化水平

搭建智慧共享平台,整合信息资源,打破各部门间的数据壁垒,充分利用卫星遥感、无人机、视频监控、互联网等技术,实现数据之间的共享和交换。构建长江南京段岸线资源整治“一盘棋”、管控“一张图”和长江南京段大数据分析通用系统,打破数据条块分割、共享率低的瓶颈,促进数据的高效流动和科学使用,推动沿江各部门涉水规划、工程建设管理、制度措施共享开放和有效整合^[5]。

参考文献:

- [1] 陈达,钟菁,吴腾,等.江苏省长江岸线利用率影响因素分析[J].水资源保护,2022,38(3):17-24.
- [2] 臧英平,仲琳,周玲霞,等.长江南京河段河势控制工程实践与思考[J].中国水利,2011(8):33-35,38.
- [3] 达波,李益鹏,黄承庚,等.江苏段长江岸线资源有偿使用定价方法及应用[J].河海大学学报(自然科学版),2023,51(1):26-33.
- [4] 殷鹏远,臧英平,沃玉报,等.长江南京段岸线管理与保护的研究与思考[J].水利发展研究,2020(11):49-52.
- [5] 殷鹏远,沃玉报,吴星辉,等.长江南京段河长制格化管理的探索[J].中国水利,2022(21):47-48,56.

(上接第64页)

捷,较好地解决了闸坝控制感潮河道洪水位预报的难点,适用于基层水情预报工作的开展,在受闸坝控制下的河道水位预报中具有应用价值。

(2)在获取流域面降水量、涨水初水位信息,选定流域内的土壤补充水量参数等数据之后,本系统即可进行计算,直接获取预报成果,适用于水情预报向数字孪生方向发展。

(3)设置虚拟流量是闸控感潮河道洪水位预报的关键,从技术上解决了由面降水量转化生成河道涨水位之间的衔接问题,建立涨水位因子与虚拟流量之间的关系,满足了预测预报洪水位的需要。

(4)在区域中心位置即启东城区附近增设1座河道水位观测站,改善区域水位的代表性,从而提

高河道洪水位预报成果质量。

参考文献:

- [1] 颜开,陈树娥,陈信华.消退曲线超渗产流模型[J].水科学进展,1997,8(1):90-93.
- [2] 包为民.水文预报[M].5版.北京:中国水利水电出版社,2017.
- [3] 颜开.一种退水曲线公式的初步探讨[J].水文,1984(1):13-18.
- [4] 陈艳,杨逸,宋正遼,等.应用雨洪规律预报洪水的探讨[J].江苏水利,2023(5):48-51.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.水情报预报规范:GB/T 22482—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.