

# 极端短历时暴雨下城市内河水文风险动态预警模型

张涛

湖北省天门市水文水资源勘测局

DOI:10.32629/hwr.v10i6.7051

**[摘要]** 极端短历时暴雨会快速抬高城市内河水位,造成排水系统过载,加大局部内涝隐患。立足城市内河水文风险动态预警需求,整合雨强、水位、汇流过程、排涝能力等指标搭建风险识别模型,剖析暴雨下河道水文变化特征与风险演变趋势,建立分级预警实时更新机制。研究能够提升城市内河洪涝风险辨识水平,为防汛调度、排涝决策与城市安全管理提供技术支撑。

**[关键词]** 极端短历时暴雨; 城市内河; 水文风险; 动态预警; 风险分级

**中图分类号:** P331 **文献标识码:** A

## Dynamic Early Warning Model for Hydrological Risks in Urban Rivers Under Extreme Short-duration Heavy Rainfall Events

Tao Zhang

Hubei Tianmen Hydrology and Water Resources Survey Bureau

**[Abstract]** Extreme short-duration heavy rainfall can rapidly elevate water levels in urban inland rivers, overload drainage systems, and increase the risk of localized flooding. Addressing the need for dynamic hydrological risk early warning for urban inland waters, this study integrates indicators such as rainfall intensity, water level, runoff processes, and drainage capacity to develop a risk identification model. It analyzes the characteristics of hydrological changes in river channels under heavy rainfall and the trends in risk evolution, establishing a real-time updated hierarchical warning mechanism. This research enhances the capability to identify flood risks in urban inland waters and provides technical support for flood control scheduling, drainage management decisions, and urban safety management.

**[Key words]** extremely short-duration heavy rainfall; urban inland rivers; hydrological risk; dynamic early warning; risk classification

### 引言

城市内河具备雨洪调蓄、排水行洪、生态调节多项作用,遭遇极端短时暴雨,河道水位会急剧起伏,排水管网与泵站运行负荷大幅加大,城市内涝和河水漫溢隐患同步走高。静态预警手段跟不上水文情势快速变动,防汛处置效率大打折扣,搭建城市内河风险识别体系与动态预警模型,可以提升暴雨灾情预判水平,强化城市防灾治理韧性。

#### 1 极端短历时暴雨下城市内河水文风险的演变特征

##### 1.1 降雨强度突增对内河水位波动的影响

极端短时暴雨雨量大、持续时间短,洪峰高度集中,内河水位不会平缓上涨,会在极短时段急剧攀升。城区硬化地面覆盖面广,雨水无法渗入地下自然耗散,路面、广场、楼顶的径流顺着管网尽数汇入河道,河道来水总量远超平日常态降雨水平。降雨峰值和管网排水高峰重合时,河面水位骤然冲高,水位曲线陡然抬升,低洼河段、狭窄桥洞与河道弯道水流阻滞,水体堆积抬高

水位,进一步拉大水位起伏幅度。雨势骤然增强会降低常规水位监测效果,监测频次不足就捕捉不到水位剧变的关键节点,水位起伏体现河道容纳水量的极限,直接左右沿街雨水井、排污管口与排涝泵站的工作状态。下游河道水位快速走高,出水口上下游水位落差持续缩小,管网向外排水的动力持续衰减,片区排水速度大幅放缓。河面水位超过管口高程,管网水体发生顶托倒灌,低洼路段、地下车库以及沿河区域积水概率大幅上升。高水位环境会加大泵站运转负荷,抽水排涝效率持续走低,河道涨水与城区积水互相助推,接连形成连锁灾害。

##### 1.2 汇流过程加快对河道行洪压力的放大

城市下垫面格局出现改变,暴雨径流生成速度出现明显加快,极端短历时暴雨降临之后,地表形成径流流入排水管网再汇入城市内河的时间被大幅压缩。硬化道路、连片建筑群与地下管线共同搭建快速汇流通道,雨洪峰值出现时刻前移,洪峰流量同步扩张<sup>[1]</sup>。内河原本负责区域排水蓄水,汇流速率过快,水体

来不及顺畅下泄,行洪压力会在短时间内集中爆发。上游片区来水持续汇集,下游河段受闸坝、桥梁、涵洞与河道断面束缚,水体相互顶托,水流流速上升,水面坡降失衡,局部河段水位快速抬升。支流、沟渠与雨水管道同步向干流泄洪,多处汇流流量相互叠加,持续挤占河道安全行洪空间。汇流提速提升水文研判难度,单点监测数据无法还原全流域水体运移规律,部分河段水位还未触警,下游狭窄河道已经形成险情。河道行洪负荷不能单纯由降雨量决定,汇水范围、管网输水能力、河道过流断面以及上下游水位联动关系共同左右洪水演进形势。

### 1.3排涝设施联动不足对风险累积的影响

城市内河防汛排涝依靠泵站、闸口、雨水管网、蓄水设施与河道水位管控协同运转,极端短时暴雨来临,各类设施联动不足,零散积水会慢慢演变成全域洪涝压力。不少排涝设施依靠固定数值与人工经验完成调度,无法及时应对洪峰提前、河水暴涨、管道满水等突发状况,闸泵启闭节奏跟不上实时水情变化,二者出现明显时差。管网满载输水阶段,泵站排水能力没能同步跟进,管内水位不断抬升,路面积水持续蔓延,闸门启闭时机把控失误,下游高水位形成回水阻碍,水体排出效率大打折扣。各片区设施归属单位不一样,监测系统与数据端口互不兼容,水情信息传输遭遇阻碍,降雨、水位、流量以及设备运行数据无法快速汇总。设施联动缺位让应急调度只能处置单点险情,没办法结合整条流域水势做出整体部署,洪涝隐患顺着管网、河道与低洼地带层层扩散,河水居高不下,积水久久无法排净,防汛人力物资调配也出现滞后。

## 2 城市内河水文风险动态预警模型的构建路径

### 2.1多源水文数据融合与指标筛选

城市内河水文风险动态预警模型搭建需要多源数据构筑信息底座,数据内容囊括雨情、水情、设备工况以及地理空间环境,雨情数据包含短时雨强、总降雨量、降雨时长与洪峰时刻,用来判定暴雨集聚程度。水情数据包含河面水位、断面过水流量、水流速度、上下游水位落差,直观展现河道容纳水量的实际状态,工情数据记录泵站出水流量、闸门开启幅度、管道液位与蓄水池蓄水容积,直观展现排涝工程即时调控水平。空间环境数据包含汇水区域面积、地面海拔、硬化土地占比、低洼点位与排水分区界线。多源信息整合不能做简单堆砌,统一时间坐标、匹配空间点位、剔除异常监测数值,补齐缺失监测记录,各类监测信息才能在同一模型框架协同运转。筛选变量优先选取对短时暴雨反应灵敏、紧跟风险演变节奏、能够说明预警结论的参数,过量指标会增加模型运算负担。选取降雨峰值强度、水位爬升速度、管网满管占比、泵站负载水平、河道蓄水富余空间作为核心变量,对照历年暴雨案例核验变量关联程度与运行稳定性。降雨峰值强度体现瞬时洪水压力,水位爬升速度预判险情发展快慢,管网满管占比展现排水设施承压状态,泵站负载水平体现设备剩余能力,河道蓄水富余空间用来预判河水漫溢隐患。

### 2.2风险阈值划分与预警等级设定

风险阈值划定构成动态预警模型分级研判的核心环节,水文时序演变数据要转化成清晰落地的管控指标。城市内河风险界限不能只参照固定警戒水位,降雨强弱、水位抬升速度、排涝设施负载、汇流抵达时长以及低洼地段抗灾条件都要纳入核算<sup>[2]</sup>。遭遇短时强降雨,水位还未触及既定警戒线,水位抬升不断提速,管道水体趋近饱和,机组运转趋近极限,险情已经快速积蓄,界限标准必须兼顾演变过程,做到提前预判。预警层级依照险情轻重划为四级,分别为关注、警戒、严重、紧急,每一档匹配对应指标组合与处置方案。关注级别紧盯降雨突变与水位急速攀升,警戒级别聚焦河道富余水量缩减,管道排水受阻,严重级别对应机组满负荷运转,局部河水外溢概率上升,紧急级别对应河水漫槽、回水倒灌与大面积积水蔓延。数值界限要参照过往洪涝事件、既定排涝指标与片区防洪实力反复校正,杜绝警报虚发或处置滞后。过往洪涝资料能够还原各类降雨造成的积水片区、溢水点位以及设备故障点位,为数值调整提供现实参考;既定排涝指标划定管网、泵站、河道对应降雨重现期的承载上限;片区防洪实力体现各区块地形、蓄水容积与泄洪通道的区别。

### 2.3模型动态更新与预警响应联动

动态预警模型的稳定运行,依托实时数据驱动更新与整套响应机制的协同配合,在极端短历时暴雨天气下,降雨核心区域、峰值雨强、河道实时水位及各类排涝设施的运行状态,都会在极短时间内产生大幅波动。模型可依据固定时间周期或既定触发规则,不间断刷新内部运算结果,整体动态更新包含实时数据接入同步、风险指标重新核算、预警层级动态调整及风险覆盖范围修正等环节,让预警结果贴合实时水文变化态势<sup>[3]</sup>。降雨雷达捕捉到强降雨回波朝上游汇水区域迁移,且河道水位抬升速度突破临界数值时,系统可主动提升对应河段的风险预警层级。泵站运行负荷降低、河道水位稳步回落、管网液位回归安全区间后,预警层级随之适配调整,规避应急资源长期闲置浪费的问题。预警联动体系打通模型运算结果与防汛调度、泵闸操控、道路管控、现场巡查的衔接通道,让预警数据落地为切实的处置举措。不同层级的预警信号对应专属处置方案,涵盖加密水文监测频次、提前启动泵站设备、微闸闸门运行状态、布设临时排涝设备、封闭易积水路段以及重点区域常态化巡查等内容。模型运算体系与应急响应机制形成完整闭环,缩减信息传递滞后偏差,提升城市内河水文风险应急处置的整体效率。

## 3 动态预警模型在城市内河防汛管理中的应用验证

### 3.1典型暴雨过程下的风险识别

典型暴雨过程中的风险研判工作,需要依托降雨时序演变、河道水位动态响应、城区易涝点位空间分布的同步变化特征综合开展。选取短时雨量集中、雨峰特征显著、河道水位涨幅迅猛的真实降雨场景作为分析样本,能够完整拆分降雨启动、峰值成型、径流汇入河道、水位逐步抬升、区域险情扩散的完整时序阶段。模型捕捉现场风险信号时可梳理水文变化的先后规律,上游汇水区域雨量稳步攀升后,支流汇入河道的水体体量持续

增长,主河道整体水位随之稳步抬升,临河低洼地带与管网排水出口极易产生水体顶托现象。河道风险研判不能单一参照水位临界数值,可结合水位涨跌快慢、河段通水输水能力、区域地形高低差距与常年积水点位分布,预判风险扩散趋势。桥梁涵洞密集、河道曲率较大、排水口集中分布的河段,模型可细化空间研判标准,排查局部水体壅滞、河道漫溢及水流倒灌的潜在隐患。复盘完整暴雨演变流程,可构建雨情异动至河道险情蔓延的动态研判体系,清晰界定风险覆盖区域、风险严重层级与灾害持续时长。

### 3.2 预警结果与防汛调度的匹配

预警结果贴合防汛调度实施方案,才可切实转化为可靠的洪涝风险管控能力,模型输出的预警层级、风险河段范围、预估影响区域及风险持续时长,可对应适配不同梯度的防汛调度部署<sup>[4]</sup>。低度预警阶段,工作重心集中在加密全域雨情水情动态监测、核验泵站设备运行工况、疏通各类核心排水端口、落实易涝点位人员值守工作。中度预警阶段,提前调整泵站启停运转频次,缓解管网与调蓄设施的蓄水压力,结合河道实时水位波动灵活调控闸门开合状态。高度预警阶段,将临时排涝设备、现场巡查人员、交通管控力量及各类应急物资部署至风险高发区域,缩短险情扩散蔓延的窗口期。预警推送内容需贴合河道上下游整体调度节奏,规避上游集中泄水与下游高水位叠加引发的次生隐患。防汛调度工作摒弃单一部门的主观经验判定,依托模型生成的实时风险分布图、关键河段断面变化走势、排涝设备负荷数据开展统筹协同部署。预警信息与调度流程建立精准对应体系,能够提升各类应急处置手段的精准度,杜绝设备无效启停、重复现场巡检、应急资源错位调配等各类问题。

### 3.3 模型优化与智慧水务融合路径

模型优化工作可从数据精准度、运算运行效率、场景适配性三个核心维度推进完善。城市内河动态预警模型实际运行阶段,会受站点布设稀疏、局部数据传输滞后、历史统计样本偏少、极端天气不确定性多重因素干扰,依托常态化参数校准能够稳步提升模型研判精准度。整合地面雨量监测站点、雷达反演雨量、河道水位传感设备、管网液位监测数据、泵站运行台账及

视频智能监测数据,搭建一体化的数据汇聚服务平台,构成多维度的数据支撑体系<sup>[5]</sup>。智慧水务体系可为模型提供数据统筹管理、动态画面展示、智能告警推送、调度台账留存等基础功能,让模型摆脱单次运算的局限,深度融入城市水务日常管控流程。模型参数可结合各片区地形走势、河网排布结构、区域排涝标准、积水点位分布差异化设定,统一判定标准无法适配复杂的城市水文环境。对接数字孪生流域系统、物联网监测终端、移动巡检设备与应急调度平台,能够快速推送险情信息、留存处置流程、同步调度反馈结果。智慧水务与模型的融合应用,可让模型产出的研判结果,切实服务水务日常运维、汛期值守巡查与极端暴雨应急处置工作。

## 4 结语

极端短历时暴雨会严重冲击城市内河水文安全,风险演变具备突发、传导、联动特征。搭建动态预警模型,整合降雨、水位、流量、管网液位、排涝设备运行等多源监测数据,细化指标筛选、阈值划定与分级响应机制。依托暴雨案例研判水情,校核预警信息并对接防汛调度,加快风险研判速度,优化应急处置方案,为城市内河防汛治理与智慧水务建设筑牢技术保障。

### [参考文献]

- [1]范臣臣,侯精明,陆品品,等.极端暴雨下城区新建基础设施洪涝致灾规律研究[J].防灾减灾工程学报,2024,44(6):1265-1274.
- [2]王奇.城市暴雨内涝灾害风险评估及防御措施研究[J].水利科学与寒区工程,2024,7(11):110-113.
- [3]崔洁,王晨,赖文蔚,等.基于水动力耦合模型的城市内涝治理方案效果评估[J].中国防汛抗旱,2024,34(9):53-58.
- [4]童钦.多河流域溃堤洪水演进及影响研究[D].西华大学,2024.
- [5]王泽于.X市城市内涝治理问题与对策研究[D].河北经贸大学,2024.

### 作者简介:

张涛(1980—),男,汉族,湖北天门人,本科,工程师,从事水文水资源研究工作。