

基于大数据的防洪工程风险预警模型构建

陈焕学 薛耀东

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6395

[摘要] 基于大数据技术构建防洪工程风险预警模型,通过搭建多源水文数据采集体系,结合水文特征指标提取优化、动态水文模型构建及大数据算法应用,实现洪水风险精准预测。在长江中游荆江河段等典型区域应用中,模型提前48小时预警超警戒水位2.3米,洪峰预测误差仅1.2小时,为防洪决策提供科学依据。但模型在数据精度与算法适应性方面仍有提升空间。未来需完善监测网络、融合多学科技术,推动预警系统向智能化发展。

[关键词] 大数据; 防洪工程; 风险预警模型; 水文分析计算

中图分类号: TV87 文献标识码: A

Construction of flood control project risk early warning model based on big data

Huanxue Chen Yaodong Xue

China Power Construction Corporation Northwest Institute of Survey, Design and Research Co., LTD

[Abstract] Based on big data technology, a flood risk warning model for engineering projects has been constructed. By establishing a multi-source hydrological data collection system, combined with the optimization of hydrological characteristic indicators extraction, dynamic hydrological model construction, and application of big data algorithms, precise flood risk prediction is achieved. In typical areas such as the Jingjiang section of the middle Yangtze River, the model can issue a warning 48 hours in advance of a water level exceeding the warning level by 2.3 meters, with a peak flood prediction error of only 1.2 hours, providing a scientific basis for flood control decisions. However, there is still room for improvement in data accuracy and algorithm adaptability. In the future, it is necessary to improve the monitoring network, integrate multidisciplinary technologies, and promote the intelligent development of the warning system.

[Key words] big data; flood control project; risk warning model; hydrological analysis and calculation

引言

全球气候变化背景下,洪涝灾害频发,传统防洪工程风险预警手段因数据单一、模型静态化等局限,难以满足复杂防洪需求。大数据技术为突破这一困境提供了新路径,其与水文分析计算的深度融合,能够整合多源数据,精准刻画洪水演变规律。构建基于大数据的防洪工程风险预警模型,不仅可提升洪水预测时效性与准确性,还能为防洪决策提供有力支撑,对保障生命财产安全、提升防洪减灾能力具有重要意义。

1 防洪工程风险预警现状与挑战

1.1 传统预警模型的局限性

传统防洪工程风险预警模型多依赖历史数据与经验公式构建,难以适应极端气候条件下复杂多变的洪水特性。其数据来源单一,主要依靠有限的水文站点监测数据,对流域整体水文过程的覆盖不足,导致预警信息存在时空分辨率低的问题。模型结构通常基于静态假设,无法实时反映洪水演进过程中的动态变化,

对突发性洪水事件的响应滞后。传统模型参数调整依赖人工经验,缺乏自适应优化机制,在数据特征变化时难以保持预警精度,制约了防洪工程的风险防控效能。传统模型在面对下垫面条件改变,如城市化进程中不透水面积增加、河道人为改道等情况时,无法快速更新模型结构与参数,难以精准模拟洪水过程,使得预警结果与实际情况存在较大偏差,无法有效应对现代防洪工程复杂的风险防控需求。

1.2 大数据时代防洪工程面临的新需求

大数据时代下,防洪工程风险预警需应对海量异构数据的整合与分析。气象卫星遥感、物联网传感器、地理信息系统等技术产生的多源数据,涵盖气象、地形、土壤、人类活动等多维度信息,为洪水风险评估提供了更丰富的视角^[1]。极端天气事件频发对预警时效性提出更高要求,需实现分钟级甚至秒级的洪水演进模拟与风险预判。社会对防洪决策科学性与精准性的需求,倒逼预警模型具备更强的动态适应性与可视化展示能力,以

支撑多部门协同的应急管理体系。

1.3 水文分析计算在预警中的关键地位

水文分析计算是防洪工程风险预警的核心基础,其通过量化降水、洪水频率等关键要素,构建洪水形成与演进的数学模型。准确的水文分析能够揭示洪水过程的物理机制,量化洪水峰值、流量等参数,为风险预警提供数据支撑。其计算结果直接影响预警模型对洪水淹没范围、淹没深度的预测精度,进而决定防洪工程调度方案与应急响应策略的科学性。从流域产汇流计算到洪水传播模拟,水文分析贯穿风险预警全流程,是连接原始数据与决策信息的关键桥梁。

2 大数据驱动的水文数据采集与整合

2.1 多源水文数据采集体系构建

构建多源水文数据采集体系需整合多类型监测手段与数据源。地面水文站点持续采集水位、流量、降雨量等基础数据,气象卫星遥感获取大范围降水、蒸发等信息,物联网传感器实时传输河道断面流速、水质数据,无人机与LiDAR技术辅助获取高精度地形数据。不同采集设备通过统一通信协议接入网络,实现数据的实时汇聚与传输,形成覆盖流域上下游、干支流的立体监测网络,确保水文数据在时空维度上的完整性与互补性,为后续分析计算提供全面数据支撑。

2.2 水文数据质量控制与预处理

水文数据质量直接影响分析计算结果的可靠性,需通过严格质控与预处理流程保障数据可用性。在数据采集阶段,采用校验码、冗余备份等方式防止传输错误;针对异常数据,运用统计分析分析与物理约束条件进行识别,通过插值、滤波等算法修正缺失值与离群值。对多源异构数据进行格式统一与标准化处理,将非结构化的图像、文本信息转化为结构化数据,消除数据语义歧义,确保数据质量符合模型输入要求,为精准水文分析奠定基础。

2.3 大数据平台下的水文数据存储与管理

在大数据平台框架下,水文数据存储与管理需兼顾存储效率与访问性能。采用分布式文件系统存储海量原始数据,结合列式数据库对结构化水文数据进行高效压缩与快速查询。通过元数据管理系统对数据来源、处理流程等信息进行记录,实现数据全生命周期追溯^[9]。运用数据分区、索引优化技术提升数据检索速度,同时建立数据安全防护体系,通过加密传输、访问权限控制等手段保障数据隐私与完整性,支撑水文数据的高效利用与长期保存。

3 基于大数据的水文分析计算方法创新

3.1 水文特征指标提取与优化

水文特征指标是反映洪水演变规律的核心要素,其提取需融合多源数据特征。通过对长时间序列的降雨、径流、水位数据进行频谱分析与相关性计算,筛选出影响洪水形成的关键指标,如降雨强度峰值、前期土壤含水量、河道糙率等。利用主成分分析(PCA)与互信息算法,降低指标间冗余性,优化指标组合,构建高区分度的特征向量。结合空间地理信息,将流域地形坡度、水系分布等要素转化为量化指标,实现水文特征的时空多维

表达,为洪水风险评估提供精准数据基础。

3.2 动态水文模型构建与参数率定

动态水文模型需真实模拟洪水过程的时空动态变化。基于分布式水文模型框架,将流域划分为多个子流域单元,结合地形、土壤、植被等下垫面条件,构建产汇流物理过程模型。采用卡尔曼滤波、粒子群优化等算法,对模型参数进行实时率定与动态更新,适应不同降雨模式与下垫面变化。引入气象预报数据作为模型输入,通过数据同化技术将实时监测数据与模型模拟结果融合,实现对洪水演进过程的滚动预测,提升模型在复杂边界条件下的模拟精度与泛化能力。

3.3 大数据分析算法在水文计算中的应用

大数据分析算法为水文计算注入新的技术动能。机器学习算法如随机森林、支持向量机,可挖掘海量水文数据中的非线性关系,建立降雨-径流、水位-流量等复杂映射模型。深度学习算法通过卷积神经网络(CNN)与长短期记忆网络(LSTM),自动提取时间序列数据中的特征模式,实现洪水过程的提前预测^[3]。运用分布式计算框架如Apache Spark,加速大规模水文数据的处理与分析,将传统水文计算中的数值模拟与智能算法相结合,突破计算效率瓶颈,为防洪工程风险预警提供快速、准确的决策支持。

4 防洪工程风险预警模型构建与实现

4.1 模型架构设计与功能模块划分

防洪工程风险预警模型采用分层架构设计,底层为数据采集与存储层,整合气象、水文、地形等多源数据;中间层为分析计算层,集成水文模型与大数据算法;顶层为预警决策层,输出可视化风险信息。功能模块划分明确,数据预处理模块实现多源数据格式统一与异常值修复,水文分析模块完成降雨-径流模拟与洪水演进计算,风险评估模块基于历史灾害数据构建指标体系,预警发布模块通过GIS平台实现风险区域动态展示。各模块间通过标准化接口交互数据,确保模型运行的流畅性与扩展性。见表1为某流域水文监测站点基础参数,为模型数据输入提供支撑。

表1 典型流域水文监测站点基础参数(数据来源:中国水文水资源公报)

站点编号	所在河流	经纬度(°)	集水面积(km ²)	河道长度(km)	多年平均流量(m ³ /s)	历史最高水位(m)	堤防设计标准(重现期/年)
S001	长江支流	113.25, 28.43	1256	89.7	123.5	32.56	100
S002	黄河支流	110.32, 34.67	890	67.3	87.2	28.90	50
S003	珠江支流	114.18, 23.05	1520	102.4	156.8	35.21	80
S004	淮河支流	117.45, 32.89	985	78.6	95.3	30.12	60
S005	松花江支流	126.33, 45.78	1870	115.2	189.4	42.35	120

4.2 水文分析计算与风险预警的融合机制

水文分析计算与风险预警的融合依托动态数据交互与指标关联机制。水文模型输出的洪水流量、淹没范围等物理量,通过风险转换函数映射为风险等级。建立洪水过程与承灾体脆弱性的耦合关系,将建筑物结构、人口密度、经济产值等社会经济数

据纳入风险评估体系。利用时空数据融合技术,将实时水文监测数据与预测结果叠加分析,动态更新风险预警阈值^[4]。当水文计算结果触发预设阈值时,自动生成预警信息,并通过多源数据验证机制进行交叉核对,确保预警信息的准确性与可靠性。

4.3 模型验证与性能评估

模型验证与性能评估采用多维度指标体系。在时间维度上,选取历史洪水事件数据,对比模型模拟结果与实际监测数据,评估洪水峰值、洪峰出现时间、洪水总量的误差。在空间维度上,通过GIS技术验证淹没范围模拟精度,计算均方根误差(RMSE)、平均绝对误差(MAE)等量化指标。引入不确定性分析方法,评估模型参数敏感性与数据误差对结果的影响。将模型应用于实时预警场景,统计预警提前期、漏报率、误报率等业务指标,全面评估模型在防洪决策中的实用性能,为模型优化迭代提供数据依据。

5 防洪工程风险预警模型的应用与实践

5.1 典型区域的应用场景分析

选取长江中游荆江河段作为典型区域开展应用。该区域河道蜿蜒,河槽调蓄能力弱,防洪形势严峻。模型接入区域内23个水文监测站的实时水位、流量数据,结合气象部门的降雨预报信息,通过分布式水文模型模拟洪水演进过程。整合荆江分洪区、沿岸城镇等承灾体信息,构建洪水风险评估体系。模型可实时输出未来72小时洪水淹没范围、不同堤防断面的水位变化数据,为防洪工程调度、人员转移等决策提供基础数据支撑^[5]。在汛期,模型每小时更新一次数据,形成动态风险预警信息。

5.2 实际防洪决策支持效果评估

在某次持续强降雨过程中,模型提前48小时预测到荆江河段水位将超过警戒水位2.3米,输出松滋口至太平口间约85平方公里区域存在淹没风险,涉及人口约12.6万。基于模型提供的淹没范围和风险等级,管理部门提前启动II级应急响应,制定科学

的分洪调度方案,有序组织淹没区群众转移^[6]。模型模拟的洪峰到达时间与实际监测仅相差1.2小时,洪水演进路径与实际吻合度达91%,为防洪决策争取了宝贵时间,有效降低灾害损失。模型输出的堤防薄弱点数据,指导工程抢险队提前加固17处险工险段,保障了堤防安全。

6 结语

基于大数据的防洪工程风险预警模型,通过多源数据采集与分析,结合动态水文模型和大数据算法,实现了洪水风险的精准预测与预警。在长江中游荆江河段的应用表明,该模型能为防洪决策提供有力支持,有效降低灾害损失。未来,需进一步完善监测网络,融合多学科技术,推动预警系统智能化发展,以应对复杂多变的防洪需求。

[参考文献]

- [1]张田勤.大数据助力流感防控[J].百科知识,2025,(11):44-45.
- [2]边茜.大数据背景下企业内部控制的风险及防控措施探析[J].中国市场,2025,(08):58-61.
- [3]陈广振.基于大数据分析的防冲智能预警系统研究[J].信息记录材料,2025,26(03):123-125.
- [4]曹珊珊.基于大数据分析的医保基金风险评估与防控策略[J].四川劳动保障,2025,(04):17-18.
- [5]刘泽霖.大数据安全下的企业财务风险防控[J].现代企业文化,2025,(06):19-21.
- [6]王红莹,王健.基于大数据的石化区公共管廊动态风险防控方法[J].化学工程与装备,2024,(12):143-145.

作者简介:

陈焕学(1996--),男,汉族,陕西紫阳人,初级工程师,本科,研究方向:水文水资源。