

基于水文勘测的智慧防汛联合调度模式研究

马军国荣

新疆维吾尔自治区塔城水文勘测中心, 中国·新疆 塔城 834700

摘要: 智慧防汛联合调度模式是指以现代信息技术为基础, 通过对水文、气象、工程等多源数据进行实时采集、融合分析和智能决策, 以实现流域内水库、闸坝、渠道等水利工程协同调度的新型防汛管理模式, 是以四预为核心, 推动防汛工作朝向主动防控转型的重要形式。本文从水文勘测在防汛调度中的应用现状充分, 说明智慧防汛联合调度系统设计方法, 明确智慧防汛联合调度模式运行要点, 以此水文勘测工作开展提供参考, 为推动防汛工作高质量发展起到应有促进作用。

关键词: 水文勘测; 智慧防汛; 联合调度

Research on Smart Flood Prevention Joint Dispatch Mode Based on Hydrological Survey

Ma Junguorong

Tacheng Hydrological Survey Center, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China Xinjiang Tacheng 834700

Abstract: The intelligent flood prevention joint dispatch model refers to a new type of flood control management model that is based on modern information technology. It involves real-time collection, integrated analysis, and intelligent decision-making of multi-source data such as hydrology, meteorology, and engineering, aiming to achieve coordinated dispatch of hydraulic projects within a watershed, such as reservoirs, dams, and channels. Centered on the concept of 'four forecasts,' it is an important form for promoting the transformation of flood control work toward proactive management. This paper elaborates on the current application status of hydrological surveys in flood control dispatch, explains the design methods of intelligent flood prevention joint dispatch systems, and clarifies the key points for the operation of the intelligent flood prevention joint dispatch model. It provides a reference for the implementation of hydrological survey work and plays a proper role in promoting the high-quality development of flood control work.

Keywords: Hydrological survey; Intelligent flood control; Joint dispatch

0 引言

以人工智能技术应用为基础, 将水文勘测数据与水利工程等数据全面整合, 构建智慧防汛联合调度系统, 并以此优化整体调度模式, 是新时期水利工程调度管理的重要趋势。在联合调度中, 通过对降水、水位、流量等要素的实时监测和动态预测, 能够有效提升汛情预报精准型。依托数字孪生平台和智能算法, 模拟不同调度方案下洪水演进和工程响应情况, 能够生成最优化联合调度方案, 提升防护调度科学性, 通过可视化指挥平台和多级联动机制, 实现预警信息快速发布、抢险资源智能调配, 能够全面提升防汛抢险时效性。结合区域水利实际情况, 构建智慧防汛联合调度模式, 具有重要研究意义。

1 水文勘测在防汛调度中的应用现状

1.1 新疆地区水文勘测工作现状

新疆地区地形复杂、气候干旱、水资源时空分布极为不均匀, 年平均降水量不足 160mm 仅为全国平均水平的 25%, 呈现北多南少、西多东少特征。当前新疆已初步建成覆盖全疆的水文监测网络, 截止 2022 年底, 建设有 241 处水文站、137 处水位站、250 处雨量监测站, 在 460 座大

中小型水库布设视频监控设施, 基本实现区、地、县三级监测系统互联互通^[1]。遥感、GIS、无人机等新型技术应用水平逐渐提升, 能够实现复杂条件下的地形测绘和水文监测。但就整体而言, 水文勘测还存在监测覆盖面不足、自动化监测比例低、数据整合不到位、大数据和人工智能技术融合不足、复合型人才匮乏等多种问题, 限制水文勘测数据作用发挥。

1.2 水文勘测在防汛调度中的作用

防汛调度是有效规避汛情发生带来损失, 实现水资源保护利用的重要手段, 当前水利事业高速发展背景下, 对防汛调度管理的重视程度不断提升, 水文勘测在调度实施中的作用也更加重要。科学做好水文勘测数据整合分析, 利用实时监测降雨、水位、流量等关键参数, 能够实现对洪水发生时间、规模及发生趋势的精准预测, 为人员转移和工程调度争取时间, 切实提升洪水预警准确性和时效性。利用水文勘测数据构建流域水利工程拓扑关系和调度模型, 能够模拟不同调度方案, 实现水库群的联合调度优化, 有效缓解春季抗旱和夏季防洪实际问题。将水文勘测数据结合地理信息系统结合, 进行洪水淹没模拟和风险区划分析,

表1 智慧防汛联合调度系统总体框架

层次	内容	作用
勘测数据采集层	水位、流量、降雨等水文勘测数据, 气象、工程、地质、遥感影像等数据	负责全方位采集防汛相关多源数据
数据传输层	有线与无线互补、卫星通信辅助的混合网络架构	负责数据可靠、高效传输
数据中心与智慧决策层	数据中心负责对汇聚的多源异构数据进行标准化清洗、融合治理与存储管理	形成统一的基础数据支持
	集成水文模型、水动力模型及联合调度优化算法, 构建数字孪生仿真环境	实现洪水过程的模拟推演、调度方案的智能生成和多目标优化比选
调度应用层	将智慧决策层的分析结果转化为可视化的预警信息、调度指令和应急预案	面向不同用户和场景提供具体服务
用户与展示层	系统界面	为各级用户提供交互入口、呈现信息

能够精准识别高风险区域, 为堤防加固、区域搬迁、编制应急预案提供科学依据, 提升防汛决策水平。

1.3 智慧防汛联合调度的必要性

水利事业传统发展模式, 防汛调度工作相对较为滞后, 调度管理方案不够科学, 难以有效应对汛情发生带来的风险损失。人工智能、物联网、大数据、数字孪生技术的应用, 为智慧防汛联合调度系统搭建提供坚实的基础支撑。对新疆水利事业而言, 加快推进智慧防汛联合调度模式建设, 具有多方面必要性。首先是新疆地区气候和水情较为复杂, 整体干旱但局部地区暴雨频发, 河流呈现“春旱、夏洪、秋缺、冬枯”的显著特征, 洪水汇流时间短、防洪压力大, 传统以经验为主的调度模式, 已经难以有效应对突发性、极端性洪水带来的损失, 必须要通过智慧化技术应用, 提升洪涝灾害预报精度和响应速度。新疆水资源和经济发展布局明显不匹配, 通过跨流域、跨区域的水工程智能联动, 能够实现水资源在汛期的合理蓄泄和旱季的有效补给, 从整体上增强水资源统筹配置利用能力^[2]。以四预理念为指引构建智慧防汛联合调度模式, 能够利用数据分析和虚拟环境调度模拟, 提前评估调度方案和工程方案的影响, 避免由于调度失误带来的风险损失, 有效提升调度科学性, 提升汛情发生时抢险救援效率。在新疆水利事业高质量发展背景下, 必须要积极推动智慧防汛联合调度系统建设, 充分发挥新质生产力在水利事业建设中的促进作用, 为实现水资源集约节约利用、生态环境保护和经济社会高质量发展提供坚实支撑。

2 智慧防汛联合调度系统设计

2.1 总体框架

针对新疆地域辽阔、水文条件复杂、基础设施分布不均特点, 本研究中提出云边端协同的智慧防汛联合调度系统总体框架, 以数据驱动为核心, 以“预报、预警、预演、预案”业务为主线, 构建具有智能决策的防汛调度体系^[1]。总体框架分为勘测数据采集层、数据传输层、数据中心和智慧决策层、调度应用层、用户展示层等层次, 各层组成及作用如表1所示。

2.2 数据采集层

数据采集是智慧防汛联合系统运行的基础, 重点在于通过构建立体监测网络, 全面、实时、准确采集水文勘测数据, 整合其他关键数据, 为系统运行提供坚实的数据支持。水温勘测数据主要包括如下几种: (1) 降水数据, 在山区暴雨易发区、河流源头区加密布设自动雨量站, 利用测雨雷达和气象卫星数据, 采集短时强降雨相关数据; (2) 水位和流量数据, 在重要河道控制断面、水库入库口、出库口、重要防洪城市上游布设超声波水位计、雷达流量计等设备, 在汛期增加数据采集频率; (3) 泥沙数据, 在喀什噶尔河等高含沙河流断面进行监测, 为水库调度中泥沙淤积问题提供数据支持; (4) 冰情和融雪数据, 在阿尔泰山、天山等主要冰雪区域, 利用遥感监测地面站点方式, 监测春季融雪径流, 为预测融雪型洪水提供支持。同时在系统中还需要整合气象、工程运行、地理空间、地质和土壤等相关数据, 确保数据分析全面、准确。

2.3 数据传输层

针对新疆地区面积大、地形复杂特征, 本研究中提出以“分层混合、智能协同”形式, 建立完整的数据网络。在已建成光缆的城镇、重点水利工程、重点水文站之间, 利用光纤或专线, 保障视频、模型数据在关键节点间的稳定、高速传输。广泛分布的普通监测站点, 优先利用已覆盖的4G/5G公共移动网络传输。无公网信号的偏远山区、荒漠监测点, 利用北斗微信短报文或低功耗物联网卫星终端传输, 确保极端情形下通信不中断。在大型水库等区域中心或重要枢纽, 部署边缘计算网关, 对本地采集的数据进行初步处理, 将关键信息上传至云中心, 减少无效数据传输量, 提升本地应急响应速度。

2.4 智慧决策层

智慧决策层是防汛联合调度系统的核心, 重点在于利用算法模型, 将数据转化为科学的调度决策。利用水文、地形、工程等数据, 建立流域的数字孪生模型, 动态反映真实流域状态, 为模拟预演提供支持^[4]。构建适合新疆干旱区、山岭区的产汇流模型和水动力模型, 利用实时降雨预报和监测数据, 驱动数字孪生模型, 动态模拟洪水过程

和淹没范围。建立以流域防洪安全、水资源利用等多目标为导向的联合调度模型,通过优化上下游水库的蓄泄过程,优化削峰、错峰调度方案,在确保工程安全前提下,最大限度减轻下游防洪压力,蓄存水资源。联合调度模型目标函数设定为最小化下游防洪控制点的洪峰超调量,最大化汛期末水库群总蓄水量:

$$\min \left(\alpha \cdot \sum_t (Q_{\text{downstream}}(t) - Q_{\text{safe}})_+^2 + \beta \cdot \left(- \sum_t V_i(T) \right) \right)$$

约束条件包括:(1) 水库水量平衡, $V_i(t+1) = V_i(t) + I_i(t) - R_i(t) - L_i(t)$; (2) 库容, $V_i^{\min} \leq V_i(t) \leq V_i^{\max}$; 泄流能力, $0 \leq R_i(t) \leq R_i^{\max}(V_i(t))$; 下游安全流量, $Q_{\text{downstream}}(t) = f(R_1(t), R_2(t), \dots, \text{区间入流}) \leq Q_{\text{safe}}$ 。

其中, $V_i(t)$ 、 $I_i(t)$ 、 $R_i(t)$ 、 $L_i(t)$ 分别为水库 i 在时段 t 的库容、入库流量、出库力量和损失; $Q_{\text{downstream}}(t)$ 为下游控制点组合流量; Q_{safe} 为下游河道全泄量; α 、 β 为权重系数,平衡防洪和蓄水目标。

利用上述模型快速生成多个联合调度方案,在数字孪生环境中进行模拟预演,直观展示各个方案中的洪水演进过程、工程状态和风险后果,便于水利部门结合专家经验进行综合比选,确定最终调度方案。

2.5 调度应用层

调度应用是根据最终调度方案,向不同部门和群体发布调度指令和信号,便于水利部门针对性开展防汛作业。根据洪涝灾害预报和风险评估结果,自动生成蓝、黄、橙、红等预警信息,通过系统接口一键发布至短信平台、广播电视、新媒体等渠道,确保预警信息传递至基层。将最终调度方案分解为具体水库、水闸的调度指令,直接下发给相应的工程管理单位,并实时反馈执行状态^[5]。在预警级别或洪水达到设定条件时,自动推送对应的应急预案,提示抢险队伍、物资储备地点和运输路线,提升应急响应效率。防汛指挥中心根据平台展示的实时水情、雨情、预报预演结果、监控视频、调度指令执行状态、资源分布等信息,统一指挥调度。系统日常运行中,还可以利用系统向社会公众提供水情、雨情、预警信息查询服务,宣传普及防汛避险知识,有效提升社会整体防灾减灾意识,提升防汛应急响应能力。

3 智慧防汛联合调度模式运行要点

3.1 完善数据融合和共享机制

多源异构数据是智慧防汛联合调度系统运行的基本支撑,在系统运行中,必须要全面整合水位、流量、降水等基本水文数据,气象数据、工程运行数据、地理空间数据、社会经济数据和实时动态数据,制定并推行数据采集、传输、存储和交换等具体标准,由防汛抗旱指挥部牵头,明确水利、气象、自然资源、应急管理、交通等部门在数据

采集共享中承担的具体责任,明确数据更新频率,通过政务数据共享平台实现数据互通。在系统运行中,必须要明确入库数据的自动校验、缺失数据的插补修复、异常数据的识别标注等具体要求,从源头提升预报调度结果准确性。

3.2 明确四预智能化业务导向

智慧防汛联合调度模式运行必须要以预报、预警、预演、预案的四预智能化业务为导向,利用实时监测和气象预报数据,生成周期更长、精度更好的洪水预报结果,提升联合调度主动性。在预报结果或实时监测值达到预警阈值时,系统能够自动启动数字孪生仿真引擎,快速模拟未来多种调度方案下洪水演进、淹没范围及对下游重点区域的影响,有效提升整体决策水平^[6]。系统要及时根据预演结果智能匹配或动态生成调度方案,推送至相关单位和责任人,确保调度作业高效开展。

3.3 构建分级协同调度指挥机制

智慧防汛联合调度模式运行需要各部门之间协同参与,加强各个主体的互动。在非汛期,应当做好系统监测数据的有效维护,定期更新模型参数,加强虚拟场景下的调度演练,确保各级指挥人员、工程管理人员能够熟悉系统操作要求,提升协同默契性。在进入汛期或出现重大汛情时,防汛抗旱指挥部需作为唯一的指挥中署,根据最终决策方案发布相关指令,确保调度指令直接下发至基层单位,确保调度措施有效落实,彰显联合调度优势,尽量减少洪涝灾害发生带来的损失。

4 结语

基于水文勘测的指挥防汛联合调度模式,是新质生产力赋能水利事业高质量发展的重要形式,对水利水文部门而言,应当切实提升对水文勘测的重视程度,优化数据采集和处理方式,为联合调度系统运行提供坚实数据支撑,为推动水利事业高质量发展做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 杨自康. 水文数据分析在防汛工程中的应用[J]. 价值工程, 2025, 44 (28): 25-27.
- [2] 齐江鹏. 新技术在新疆地区水利水电勘测设计中应用及发展[J]. 云南水力发电, 2025, 41 (08): 142-145.
- [3] 吕磊. 智慧水利在洪水预报和防洪调度中的应用研究[J]. 水上安全, 2025, (13): 115-117.
- [4] 王振. 新疆水利新质生产力发展路径研究[J]. 水利技术监督, 2025, (08): 87-91+168.
- [5] 刘欣怡, 刘志群, 严行云等. 智慧防汛技术体系的实践应用与发展趋势[J]. 珠江水运, 2025, (06): 69-71.
- [6] 张希, 雒望余, 赵小丽等. 橡胶坝群联合调度防汛应急预案[J]. 陕西水利, 2020, (05): 84-85.

作者简介: 马军国荣(1992-), 男, 东乡族, 甘肃省东乡族自治县人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 水文水资源, 水文自动化建设在实际工作中的应用。