

水旱灾害防御雨水情监测预报技术研究

黄智强 张小虎

子长市水旱灾害防御中心 陕西 延安 717300

摘要: 水旱灾害是影响流域水资源安全与区域发展的主要自然灾害,精准的雨水情监测预报是防灾减灾的核心关键。本文立足水旱灾害形成机制与防御工作要求,梳理雨水情核心监测预报指标,系统剖析地面监测、空天地一体化监测、智能监测系统等关键技术。同时分层探究雨情、水情、旱情预报及多要素耦合预报技术,结合智能信息技术优化预报体系。研究旨在完善雨水情预报技术体系,提升水旱灾害预判与处置能力。

关键词: 水旱灾害防御;雨水情监测;水文预报;空天地一体化监测;智能信息技术

引言:我国区域水文水资源时空分布差异显著,水旱灾害频发、多发,具备突发性与区域性特征,严重制约农业生产、水利工程安全运行与群众生活保障。传统雨水情监测预报模式存在数据零散、监测盲区多、预报精度不足等短板,难以适配现代水旱灾害事前防控的工作需求。为破解现有技术瓶颈,补齐防灾减灾工作短板,本文系统开展雨水情监测预报技术专项研究,整合立体化监测与智能化预报技术,构建精细化、全域化的雨水情研判体系,助力水旱灾害防御工作科学化发展。

1 水旱灾害防御雨水情监测预报理论与指标体系

1.1 水旱灾害发生机制与防御工作要求

水旱灾害是区域水文水资源时空分布失衡引发的主要自然灾害,洪涝灾害多由短时强降雨、持续性降雨导致流域水量激增,河道水位超限、坡面汇流过快引发漫溢、内涝等险情;干旱灾害则是长期降水偏少、蒸发量偏大,造成河湖水位下降、土壤墒情不足、水资源短缺的现象。两类灾害具有突发性、季节性和区域性特征,对区域农业生产、水利工程运行和群众生活影响极大。现阶段水旱灾害防御工作坚持“预防为主、防治结合”的原则,核心工作围绕提前预判、动态监测、精准预警、科学调度展开。

1.2 雨水情核心监测预报指标选取

雨水情指标是开展灾害研判和预报分析的基础,指标选取需贴合水旱灾害形成规律,兼顾实用性与针对性。雨情指标主要包括小时降雨量、日累计降雨量、降雨时长、降雨强度及降雨时空分布特征,能够直观反映区域降水补给情况,是预判洪涝风险的核心依据。水情指标涵盖河道水位、流量、流速、水库库容、墒情、地下水埋深等,可精准体现流域水文状态变化。结合水旱防御实际需求,指标选取遵循贴合实操、数据易获取、适配模型运算的原则,剔除冗余低效指标,重点聚焦影

响灾害形成的关键要素,为后续数据监测、模型预报、风险研判提供标准化的数据支撑,保障预报结果贴合现场防御需求^[1]。

2 水旱灾害雨水情监测关键技术

2.1 地面站点雨水情监测技术

地面站点监测是水旱灾害雨水情数据采集的基础手段,主要分为以下两类技术:(1)雨情地面监测技术。该技术依托区域布设的自动雨量站、人工观测雨量站点开展数据采集,核心设备包含翻斗式雨量传感器、雨量记录仪等。设备可实时采集分钟、小时、日尺度降雨量数据,精准记录降雨起止时间、降雨强度、累计雨量等核心参数,适配流域日常雨情观测与暴雨天气专项监测,是研判洪涝灾害雨情诱因的基础数据来源。站点严格按照水文规范布设,兼顾山区、平原、河道沿线等不同地形,保障区域雨情数据采集的均匀性。(2)水情地面监测技术。主要依托河道、水库、堤防、灌区布设的水文监测站,集成水位计、流量计、墒情传感器等设备,定点采集河道水位、断面流量、水库库水位、土壤墒情、地下水埋深等水情要素。监测设备可实现全天候连续采样,能够精准捕捉汛期水位涨落、枯水期水量衰减等动态变化,为流域水文状态研判提供基础实测数据。

2.2 空天地一体化立体监测技术

空天地一体化监测技术弥补了传统地面站点监测覆盖范围有限、偏远区域监测盲区的短板,整合卫星遥感、航空监测与地面监测资源,构建全方位、立体化的雨水情监测网络,适配大范围、突发性水旱灾害监测场景。(1)卫星遥感监测技术。通过气象卫星、水文遥感卫星获取大范围流域的云层覆盖、降水分布、水体面积、植被墒情等数据,可快速识别大范围强降雨区域、河湖水域扩张与萎缩范围,适配区域性暴雨、连片干旱等大规模水旱灾害的全域监测,解决地面站点稀疏区域

的数据缺失问题。(2)低空航空监测技术。以无人机航测为核心,搭载高清摄像、水文监测载荷,针对局部山洪沟、偏远河道、险工险段等地面监测盲区开展机动监测,可快速获取局部区域实时雨水情现状、河道行洪状态及干旱区域地表实况,具备机动灵活、响应快速的优势。(3)空天地数据融合技术。整合卫星宏观数据、无人机局部精细数据、地面站点精准实测数据,完成多源数据校对、匹配与整合,实现全域覆盖、局部精准的立体化监测模式。

2.3 自动化智能监测系统应用实践

自动化智能监测系统依托物联网、传感传输、数据存储技术,实现雨水情数据自动采集、传输、汇总、校对全流程智能化作业。(1)自动采集传输系统。各类雨水情监测设备搭载智能采集模块,可按照设定频次自动采集数据,并通过4G、北斗、专网等传输通道,实时将数据推送至水文监测平台,实现无人值守常态化监测,规避人工观测的延时性与人为误差。(2)智能数据处理系统。系统内置数据校核、异常识别程序,可自动甄别缺失数据、突变异常数据,对超标降雨、超限水位等特殊数据进行标记,完成原始数据的标准化处理,保障入库数据的真实性与有效性。(3)全域联动监测体系。区域内所有监测站点接入统一水文信息平台,实现雨水情数据统一归集、实时共享,可同步掌握全域各流域、各河段雨水情动态,为水旱灾害统一研判、统筹调度提供一体化数据支撑^[2]。

3 水旱灾害雨水情精准预报核心技术

3.1 短中长期分层雨情预报技术

雨情预报依据预报时效划分短期、中期、长期分层预报体系,各层级采用适配性技术模型,针对不同降雨特征开展精细化推演。(1)短期雨情预报技术。短期预报时效控制在0至72小时,以中小尺度气象数值模型为核心技术支撑,依托区域气象监测站网捕捉风场、湿度、气压等气象要素,结合局地地形地貌、下垫面条件,精准推演短时降雨落区、降雨强度、降雨时长及累计雨量。该技术重点针对突发暴雨、短时强对流天气进行精准研判,分辨率高、时效性强,可精准识别局地性、突发性降雨过程,为山洪、城市内涝等突发洪涝风险预判提供数据支撑。(2)中期雨情预报技术。中期预报时效为4至10天,依托大尺度环流形势分析技术,结合副热带高压、季风进退、冷暖空气交汇等气象系统变化规律,预判区域阶段性降雨过程、降雨总量及降雨分布特征。技术侧重研判持续性降雨、阶段性晴雨交替态势,可提前锁定流域集中降雨时段,为防汛前期准备、水利工程

预调度提供依据。(3)长期雨情预报技术。长期预报时效覆盖月、季尺度,基于气候模式数据、历史气象水文序列资料,结合区域气候演变规律,分析年度汛期降水总量、降水时空分布趋势,预判区域性多雨、少雨态势,为年度抗旱防汛总体部署、水资源统筹调配提供宏观参考。

3.2 河道与流域水情动态预报技术

水情动态预报以雨情实测、预报数据为输入条件,结合流域水文特征,推演河道水位、流量、洪峰演进过程。(1)河道一维水情预报技术。针对天然河道、人工河道主干水系,采用一维水动力学模型,基于河道断面参数、糙率、比降等基础地形数据,模拟水流沿程演进、水位涨落、洪峰传播速度及峰值变化,精准预报河道控制断面的实时水位、流量过程,适配主干河道常态化水情推演与汛期洪峰预报。(2)流域分布式水文预报技术。针对中小流域、山丘区流域,采用分布式水文模型,将流域划分为若干计算单元,结合各单元地形、植被、土壤、土地利用差异,分别计算单元产流、汇流过程,精准模拟流域整体汇流规律,解决传统集总式模型对复杂地形流域模拟精度不足的问题,适配山洪多发区域的精细化水情预报。(3)工程联动水情预报技术。整合水库、闸坝、堤防等水利工程调度参数,将工程泄流、蓄水调控工况纳入水情模型,动态修正河道水情预报结果,实现天然水文过程与人工调度工况的协同预报,贴合流域工程调度常态化应用场景^[3]。

3.3 区域旱情识别与趋势预报技术

旱情预报聚焦区域水资源亏缺状态,结合土壤墒情、河湖水量、气象蒸发等多要素,实现干旱识别、等级判定、趋势推演的全流程精准预报,适配区域性干旱灾害研判需求。(1)实时旱情识别技术。依托土壤墒情监测站、地下水监测站、河湖水位监测数据,结合降水距平、蒸发量数据,通过标准化降水指数、土壤相对湿度指数、干旱综合指数等计算模型,实时判定区域干旱发生范围、干旱等级,精准识别轻旱、中旱、重旱、特旱不同干旱状态。(2)旱情动态推演技术。基于持续无降水天数、土壤失墒速率、河湖水量衰减规律,构建旱情演变推演模型,动态预判干旱持续时间、蔓延范围及加剧趋势,精准捕捉干旱从局部点状分布向全域连片发展的演变过程。(3)季节性干旱预报技术。结合区域气候特征与历史干旱时序数据,预判春旱、伏旱、秋旱等季节性干旱的发生概率、持续时长与影响区域,为农业抗旱、生态补水、生活供水保障提供前置预判依据。

3.4 多要素耦合预报模型构建技术

多要素耦合预报技术是提升水旱灾害预报精准度的核心关键,打破单一气象、水文要素预报局限,整合多维度监测数据,构建多要素协同推演的预报模型,解决复杂工况下预报偏差问题。(1)气象-水文双向耦合技术。将气象降雨预报数据与水文径流模拟模型深度耦合,实现降雨输入、产汇流输出的动态联动修正,依托实时雨水情实测数据反向校正气象预报偏差,有效提升极端天气下洪水预报的精准度。(2)多源数据融合耦合技术。整合地面站点实测数据、卫星遥感数据、无人机监测数据,对不同来源、不同分辨率数据进行归一化处理、误差校正,填补监测盲区数据,保障模型输入数据的完整性与精准性。(3)工况动态修正耦合技术。结合汛期河道行洪、水库调度、灌区取水等动态工况,实时调整模型参数,修正水文、旱情预报结果,规避固定参数模型在复杂调度场景下的预报失真问题,提升预报模型的场景适配性与精准度^[4]。

4 智能信息技术赋能雨水情监测预报体系升级

智能信息技术的深度应用,有效突破传统雨水情监测预报体系的技术瓶颈,全面提升水文监测、预报、预警及仿真研判的综合能力。(1)多源雨水情大数据融合处理技术,整合流域内水文站点、气象监测站、遥感卫星、视频监控等多渠道监测数据,破除数据壁垒与信息孤岛,通过数据清洗、校对、融合与标准化处理,解决传统数据分散、精度不足、时效性差等问题,构建全域统一的雨水情数据资源体系,为后续预报分析、风险研判提供全面、可靠的数据支撑。(2)人工智能优化水文气象预报精度,依托机器学习、深度学习算法对海量历史水文气象数据进行训练分析,挖掘降雨、径流、水位变化的内在规律,修正传统经验模型的计算误差,精准预判短时强降雨、河道涨水、山洪演进等水文变化趋势,大幅提升极端天气下雨水情预报的精准度与时效

性。(3)物联网技术实现实时监测预警联动,依托全域布设的物联网监测终端、传感器及传输设备,全天候自动采集水位、流量、雨量、流速等核心数据,实现监测数据实时传输、动态更新,结合预设风险阈值自动触发分级预警,联动水利、防汛、应急等相关部门开展协同处置,构建闭环式监测预警处置机制。(4)数字孪生流域预报仿真技术应用,搭建与真实流域场景高度匹配的数字化仿真模型,复刻流域地形、水系、水文运动全过程,可模拟不同降雨工况下的水文演变过程,精准推演洪水演进路径、淹没范围及风险等级,为防汛调度、风险防控、应急决策提供科学直观的技术支撑^[5]。

结束语:本文系统梳理了水旱灾害雨水情监测预报的理论体系与核心技术,搭建了从基础监测、分层预报到智能赋能的完整技术框架,有效弥补了传统预报技术的诸多不足。通过多技术融合与智能手段升级,显著提升了雨水情研判的精准度与时效性。后续可结合不同流域地形、水文特征及工程调度场景,持续优化模型参数与监测体系,进一步提升技术适配性。

参考文献

- [1]刘志雨,张同强.水旱灾害防御雨水情监测预报技术研究[J].水利发展研究,2025,25(1):48-55.
- [2]王宗志,王坤,雍斌,等.洪水高风险区雨水情监测预报预警关键技术研究框架[J].水科学进展,2025,36(6):974-985.
- [3]尚特.自动化水文监测下的精准水情预报技术研究[J].中国科技信息,2026,38(8):128-131.
- [4]张建刚,穆禹含,张欣,等.雨水情监测预报“三道防线”建设技术和装备应用研究[J].水利信息化,2025,(2):50-55+63.
- [5]吴泽斌,田济扬,刘荣华,等.山洪灾害临近预报预警技术及实践应用[J].中国防汛抗旱,2024,34(12):41-45.