

大数据驱动的水利生产运行风险预警模型构建与应用

陈 浩

阜宁县水务局 江苏 盐城 224400

摘 要: 水利生产运行涉及多领域, 风险具复杂、动态、后果严重等特征, 风险识别需综合多种方法。当前预警体系处于转型过渡阶段, 存在精度低、时效性不足等问题。大数据虽具特征且部分应用, 但面临数据、技术、应用瓶颈。本文构建大数据驱动的预警模型, 涵盖构建目标、原则、技术流程及关键模块, 并从数据、技术、制度与管理三方面构建保障体系, 为水利生产运行风险预警提供新思路。

关键词: 数据; 水利生产运行; 风险预警模型

引言: 水利作为国民经济基础性支撑产业, 其生产运行安全直接关系流域生态稳定、城乡防洪减灾及粮食安全大局。随着极端天气频发与工程服役年限增长, 水利生产运行面临的风险诱因更趋多元, 传统预警模式已难以适配复杂风险的防控需求。基于此, 本文聚焦大数据驱动的水利生产运行风险预警模型构建, 系统梳理技术框架与保障机制, 为提升水利安全管控智能化水平提供实践支撑。

1 水利生产运行风险特征与识别

水利生产运行涉及水库、堤防、水电站等多个领域, 其风险具有独特特征。从风险特征来看, 首先是复杂性。水利系统包含众多工程设施与自然环境要素, 各部分相互关联、相互影响, 一处出现问题可能引发连锁反应, 如水库大坝渗漏可能影响下游堤防安全。其次是动态性, 水文气象条件不断变化, 像暴雨、洪水等极端天气随时可能发生, 导致风险状况实时改变。再者是后果严重性, 水利设施一旦失事, 可能造成人员伤亡、大面积农田淹没、城市内涝等重大损失。在风险识别方面, 需综合多种方法, 通过历史资料分析, 梳理过往水利事故的原因、类型及发生规律, 为当前风险识别提供参考^[1]。运用现场检查, 专业人员对水利工程的结构、设备等进行细致查看, 发现潜在隐患。借助模型模拟, 如洪水演进模型, 预测不同工况下可能出现的风险。同时关注新技术带来的风险, 如信息化系统可能面临的网络安全威胁。准确识别水利生产运行风险, 是有效防控风险、保障水利事业安全稳定发展的前提。

2 水利生产运行风险预警现状与大数据应用瓶颈

2.1 水利生产运行风险预警现状

当前水利生产运行风险预警已构建“监测-研判-发布”基本框架, 处于传统向智能化转型过渡期。监测上, 建成覆盖主要江河湖泊和大型水利工程的监测网络,

配备水位、流量等常规传感器, 部分引入视频监控、无人机巡查, 实现关键指标实时采集。研判时, 主要采用阈值法与经验判断结合, 依历史数据设水位预警阈值, 超标触发预警, 且依赖专家人工复核。发布通过短信、预警平台、广播等渠道, 覆盖工程运维人员等关键主体。但现有体系问题明显: 预警精度低, 阈值法难适应复杂水文环境动态变化, 易误警、漏警; 时效性不足, 偏远地区数据传输延迟, 人工研判流程繁琐; 针对性不强, 多为通用预警, 缺乏个性化方案。此外, 中小型水利工程预警体系建设滞后, 监测设备覆盖率低, 预警能力薄弱。

2.2 水利生产运行大数据资源特征与应用现状

水利生产运行大数据具有“体量大、类型多、增速快、价值高”特点。体量上, 涵盖水文、工程运维、气象、遥感等多类数据, 单座大型水库年数据增量达 TB 级; 类型包括结构化、半结构化和非结构化数据; 增速受监测设备加密与技术升级推动, 呈指数级增长; 价值在于挖掘分析可揭示风险规律、优化预警策略。应用上, 大数据技术在部分领域初显成效, 如水文预报整合多源数据构建模型提升精度, 工程运维利用设备数据开展故障诊断实现预防性维护^[2]。但应用深度与广度不够: 多集中于单一领域, 未实现多风险协同分析; 数据挖掘浅显, 多停留在统计与趋势分析, 未深入挖掘风险关联; 区域应用不均衡, 大型工程和东部地区应用较好, 中小型工程和中西部滞后, 未形成全国统一格局。

2.3 大数据驱动预警的核心瓶颈

大数据驱动水利生产运行风险预警面临数据、技术、应用三大核心瓶颈。数据层面, 首要问题是数据孤岛现象突出, 水利、气象、地质、应急等部门数据分散管理, 数据标准不统一, 如不同部门的降雨量监测数据精度、采集频率存在差异, 导致数据融合困难; 其次是数据质量不高, 部分老旧监测设备存在数据失真、缺失问题, 非结

构化数据（如视频、影像）标注与清洗难度大，影响数据可用性。技术层面，多源数据融合技术不成熟，结构化与非结构化数据融合、实时数据与历史数据融合的技术方案尚未完善，难以形成全面的风险研判依据；智能建模技术适配性不足，现有机器学习模型多针对通用场景，未结合水利生产运行风险的非线性、突发性特征进行优化，模型泛化能力弱；算力支撑不足，大数据处理与模型运算对算力要求高，部分基层水利部门算力资源匮乏，难以满足实时预警需求。应用层面，技术与业务融合不深，模型输出结果与实际预警业务流程脱节，未转化为可直接应用的预警方案；专业人才短缺，既掌握大数据技术又熟悉水利业务的复合型人才匮乏，制约技术落地与迭代。

3 大数据驱动的水利生产运行风险预警模型构建框架

3.1 模型构建目标与原则

大数据驱动的水利生产运行风险预警模型构建目标明确，核心是依托大数据技术突破传统预警局限，实现风险预警的精准化、实时化与智能化。具体目标包括：（1）提升预警精度，通过多源数据融合与智能建模，降低误警率与漏警率，实现对不同类型风险的精准识别；（2）提高预警时效性，优化数据处理与模型运算流程，将预警响应时间从小时级缩短至分钟级，为应急处置预留充足时间；（3）增强预警针对性，结合不同水利工程的结构特征、运行工况及风险历史，提供个性化预警方案，明确风险等级、影响范围及管控建议。模型构建需遵循四大原则：实用性原则，以水利生产运行实际需求为导向，模型设计兼顾技术先进性与业务适配性，确保输出结果可直接服务于预警决策；数据驱动原则，充分挖掘多源大数据价值，以数据为基础支撑模型训练、验证与优化；系统性原则，涵盖数据采集、处理、建模、应用全流程，实现各环节无缝衔接；动态可扩展原则，预留数据接口与模型升级通道，适应监测设备更新、风险类型变化及技术迭代需求，确保模型长期有效。

3.2 模型构建技术流程：“数据层-处理层-建模层-应用层”

模型构建采用“数据层-处理层-建模层-应用层”的四层技术流程，形成闭环支撑体系。数据层作为基础，负责多源数据采集与存储，采集范围包括水利工程监测数据（水位、渗压、设备运行参数等）、气象数据（降雨量、气温、台风路径等）、地质数据（地形、土壤含水量等）及社会经济数据（受影响区域人口、资产等），通过分布式数据库实现结构化与非结构化数据的统一存储，同时建立数据质量溯源机制。处理层承担数据预处理与融合任

务，先通过数据清洗、去噪、补全技术提升数据质量，再采用ETL工具与深度学习数据融合算法，实现多源数据的格式统一、时空对齐与特征提取，形成标准化数据集^[3]。建模层是核心，构建“分类-预测-研判”三级模型体系：分类模型采用随机森林算法识别风险类型，预测模型通过LSTM神经网络预测风险演化趋势，研判模型结合风险等级矩阵判定风险等级。应用层负责预警输出与应用，将建模结果转化为可视化预警信息，通过预警平台、移动终端等渠道发布，同时对接应急指挥系统，提供风险管控方案与应急处置流程，实现“预警-处置-反馈”的闭环管理，反馈数据可反哺模型优化。

3.3 关键技术模块设计

关键技术模块设计围绕四层技术流程，重点突破数据融合、智能建模、实时运算与可视化四大核心模块。数据融合模块采用“多维度协同融合”技术，针对结构化数据，通过数据标准化与关联规则挖掘实现跨部门数据融合；针对非结构化数据，引入计算机视觉与自然语言处理技术，如对视频监控数据进行目标检测识别堤坝裂缝，对运维文本记录进行语义分析提取风险信息，最终通过联邦学习技术在保障数据安全的前提下实现多源数据协同分析。智能建模模块构建“自适应混合模型”，融合传统统计模型与深度学习模型优势，针对洪水等周期性风险采用ARIMA模型预测基础趋势，针对设备故障等突发性风险采用CNN-LSTM模型捕捉非线性特征，同时加入注意力机制强化关键风险因子权重，提升模型预测精度。实时运算模块采用“边缘-云端协同”架构，边缘节点负责实时数据采集与初步处理，降低数据传输压力；云端部署分布式计算框架，实现大规模模型并行运算，确保预警响应实时性。可视化模块设计“全景式预警仪表盘”，通过GIS地图直观展示风险空间分布，采用动态图表呈现风险演化趋势，支持风险信息钻取查询，为决策者提供直观、全面的预警依据。

4 模型应用的保障体系构建

4.1 数据保障体系

数据保障体系是模型有效运行的基础，需从数据采集、共享、质量、安全四方面构建全方位保障机制。数据采集保障方面，实施监测设备升级与网络优化工程，在中小型水利工程补充部署智能传感器，实现监测数据全覆盖；建立设备全生命周期管理机制，定期开展设备校准、维护与更换，确保数据采集精度与稳定性。数据共享保障方面，推动建立跨部门数据共享协调机制，由水利部门牵头，联合气象、地质、应急等部门成立数据共享中心，制定统一的数据标准规范，明确数据共享范围、

格式与更新频率；搭建安全的数据共享平台，采用API接口、数据脱敏等技术，实现数据“按需共享、安全流转”。数据质量保障方面，建立“三级数据质控机制”，一级质控由监测设备自动完成数据异常检测，二级质控通过算法进行数据清洗与补充，三级质控由专业人员人工复核，同时建立数据质量评价指标体系，定期开展数据质量评估。数据安全保障方面，制定数据安全管理办法，明确数据分级分类标准，对敏感数据进行加密存储；部署防火墙、入侵检测等安全设备，防范数据泄露与网络攻击；建立数据备份与恢复机制，采用异地备份方式确保数据完整性与可用性。

4.2 技术保障体系

技术保障体系聚焦技术研发、算力支撑、技术服务三大核心，为模型应用提供持续技术支撑。技术研发保障方面，构建“产学研用”协同创新机制，由水利科研院所、高校、科技企业联合组建技术研发团队，针对模型应用中的关键技术难题开展专项攻关，如多源数据融合、模型自适应优化等技术；设立专项研发资金，保障技术研发与成果转化投入，鼓励研发团队结合实际应用场景迭代技术方案。算力支撑保障方面，实施“算力升级工程”，基层水利部门部署边缘计算节点满足实时数据处理需求，省级以上水利部门建设云计算中心，整合算力资源形成“边缘-云端”算力网络；建立算力动态调度机制，根据预警任务复杂度与实时性要求，智能分配算力资源，提升算力利用效率。技术服务保障方面，建立专业技术服务团队，提供模型部署、调试、运维等全流程技术服务，针对基层水利部门开展技术培训，提升工作人员技术操作能力；搭建技术服务平台，开通线上咨询通道，及时响应技术问题，同时定期发布技术更新公告与优化方案，确保模型技术性能持续提升，适配水利生产运行风险的动态变化。

4.3 制度与管理保障体系

制度与管理保障体系通过完善制度建设、强化组织管理、健全考核机制，确保模型应用落地见效。制度建设

方面，制定《大数据驱动水利风险预警管理办法》，明确各部门在预警工作中的职责分工，规范预警信息采集、分析、发布、处置等全流程工作流程；出台数据管理、技术运维、安全保障等配套制度，形成“主办法+配套制度”的完整制度体系，为模型应用提供制度遵循^[4]。组织管理方面，建立“分级负责”的组织架构，成立省级水利风险预警指挥中心，统筹全省预警工作；市、县两级设立预警工作专班，负责本区域模型应用与预警处置；水利工程管理单位明确专人负责监测数据采集与预警信息接收，形成“上下联动、协同高效”的管理机制。考核机制方面，将模型应用成效纳入水利工作年度考核体系，设定预警精度、响应时效、处置效果等量化考核指标，对工作成效显著的单位与个人予以表彰奖励；建立责任追究机制，对因数据报送不及时、预警处置不当等导致风险扩大的，严肃追究相关人员责任，通过考核激励与责任约束，推动模型应用常态化、规范化。

结束语

大数据驱动的水利生产运行风险预警模型构建与应用，是顺应时代发展、提升水利安全保障能力的关键举措。通过构建科学合理的模型框架与保障体系，可有效突破传统预警局限，实现精准、实时、智能预警。未来，需持续优化模型，强化保障体系执行，推动水利行业向智能化、现代化迈进，更好地守护人民群众生命财产安全与经济社会稳定发展。

参考文献

- [1]姜丽.水利水电安全生产运行管理中的问题及对策研究[J].工程建设与设计,2025(7):286-288.
- [2]刘浩,刘华军,王海艳,等.水利工程建设安全生产及运行标准化管理探究[J].水上安全,2024(2):25-27.
- [3]沈逸星,杨宝森.水利工程建设安全生产及运行标准化管理的对策研究[J].模型世界,2024(28):209-211.
- [4]莫建均.新时期水利工程建设管理创新思路探索[J].城市建设理论研究(电子版),2023,(36):193-195.