

# 多源水文监测数据融合整编技术应用研究

张 涛

湖北省天门市水文水资源勘测局 湖北 天门 431700

**摘 要:** 多源数据融合整编是提升流域水文监测精度与决策科学性的关键技术。本文分析了水文监测数据在时空配准、质量控制及融合架构方面存在的问题,提出数据层、特征层、决策层三级融合整编模型,构建自适应质量控制与动态权重分配机制,并设计分布式融合架构与数据标准体系。研究表明,动态权重分配使融合输出与实测值相关系数显著提升,自适应质量控制机制使误报率大幅下降,数据有效利用率明显提高,为流域安全管理与水资源调度提供技术支撑。

**关键词:** 多源; 水文监测; 数据融合; 整编技术

## 引言

水文监测承担着流域水位、流量、降雨等要素的实时采集与分析任务,数据来源涵盖地面站网、卫星遥感、气象雷达及物联网传感器等多类平台。各数据源在时间分辨率、空间覆盖及测量精度上存在显著差异,数据孤岛现象制约着流域管理决策的科学性。当前,多源数据融合过程中存在时空配准偏差大、数据质量参差不齐、融合架构扩展性不足等突出问题,导致洪水预报精度下降。因此,亟需研究多层次融合模型与自适应质量控制等关键技术。

## 1 水文监测数据融合整编的核心逻辑

水文监测承担流域水位、流量、降雨、蒸发、水质等要素的实时采集与分析任务。数据来源涵盖地面水文站网、卫星遥感平台、气象雷达系统、物联网传感器网络、无人机巡查设备及社会感知终端<sup>[1]</sup>。各数据源在时间分辨率、空间覆盖范围、测量精度、数据格式上存在显著差异。单一数据源无法覆盖水文过程的全部时空尺度,数据孤岛现象制约着流域管理决策的科学性。融合整编的核心指向四个维度:第一,所有监测节点配备标准化数据接口,确保多源数据可接入、可解析;第二,在关键环节部署质量校验与异常检测模块,自动化剔除离群数据;第三,设计分级融合策略,在数据层、特征层、决策层逐级推进信息整合;第四,在保障数据安全前提下兼顾系统开放性,降低运维成本。水文监测系统的运行效率直接关系流域管理水平。数据融合整编质量不足导致模型率定偏差加大,洪水预报精度下降。当前,卫星遥感数据覆盖广但受云层影响,地面站网精度高但空间覆盖有限,气象雷达时空分辨率高但衰减严重。三类数据在系统集成过程中融合效果不佳,数据间交互性不足,难以支撑精准化水文预警与调度。融合整编技术的价值

在于:将不同来源、不同格式、不同质量的数据进行综合处理,获取更全面、准确的水文信息,提升监测的完整性与可靠性。

## 2 水文监测数据融合整编存在的问题

### 2.1 数据时空配准偏差导致融合精度下降

不同数据源在时间尺度和空间分辨率上存在差异。卫星遥感数据重访周期为数天,地面水文站提供分钟级数据,气象雷达数据更新频率为六分钟。三类数据在时间轴上无法直接对齐,空间上卫星像元尺度与站点点位尺度不匹配。配准过程中引入的插值误差和重采样偏差直接影响融合结果的可信度。地面站网分布不均,西部山区站点稀疏,东部平原站点密集。遥感数据在地形复杂区域受阴影和遮挡影响,反射率反演精度降低。气象雷达在远距离探测时波束升高,低层降水探测能力减弱。多源数据在集成时若不进行时空一致性校正,融合输出的水文要素场将出现系统性偏移。配准误差沿数据链路逐级传递,最终在洪水预报模型中被放大,导致峰值流量预测值与实测值偏差超过允许范围。

### 2.2 数据质量参差不齐引发融合失效

水文监测数据受设备老化、通信中断、人为干扰等因素影响,数据质量不一。部分雨量站因传感器堵塞导致降雨量偏小,部分水位站因淤积导致水位-流量关系曲线偏移。遥感数据受大气校正误差影响,反演的水体面积与实测值存在偏差。物联网传感器在野外环境中受温度漂移、电磁干扰影响,数据波动加剧。质量不一的数据直接输入融合模型将导致结果失真。离群值未被剔除时,统计融合方法的权重分配被扭曲,机器学习模型的训练过程被噪声主导。数据缺失段未被合理填补时,时间序列分析出现断点,趋势性特征提取失败。含水层水位数据因传感器故障出现连续缺失,融合模型无法识别

补给关系,地下水资源评估结论产生偏差。数据质量问题导致融合整编成果在洪水演进模拟中出现水量不平衡,模型率定系数下降。

### 2.3 融合架构扩展性不足制约系统升级

现有融合系统多采用集中式架构,所有数据汇入单一处理节点。当新增无人机巡查数据或社交媒体感知数据时,系统需重构数据接入模块,扩展性受限。融合算法多为固定模型,无法根据数据特征动态调整参数<sup>[2]</sup>。不同流域的水文特征差异显著,同一套融合策略难以跨区域复用。系统各功能模块耦合度高,数据接入层、处理层、存储层、应用层之间缺乏解耦设计。当某一层出现故障时,整条数据链路中断。融合结果的可视化表达手段单一,多为二维图表,缺乏三维动态展示与虚拟现实模拟能力,决策支持效果受限。集中式架构在面对流域级大规模数据接入时,处理延迟增加,实时预报响应时间超过调度需求。架构固化导致系统升级需停机重构,运维中断影响业务连续性。

## 3 水文监测数据融合整编技术优化策略

### 3.1 多层次融合整编模型构建

融合整编模型分为数据层融合、特征层融合、决策层融合三个层级。数据层融合处理原始观测值,通过时空一致性校正将不同分辨率的数据对齐至统一网格。特征层融合提取各数据源的水文特征变量,如降雨强度、土壤含水量、河道水位变化率,在特征空间完成信息整合。决策层融合输出洪水风险等级、水资源调度方案等决策信息,供管理部门直接使用。数据层融合采用插值与重采样技术,将卫星像元数据与站点数据统一至相同时空网格。特征层融合利用统计方法与机器学习算法,计算多源特征之间的关联权重。决策层融合基于证据理论与模糊评判,将多源决策信息综合为单一输出,三个层级逐级推进,下层输出作为上层输入,形成完整的信息加工链条<sup>[3]</sup>。融合整编模型需支持多源异构数据接入。地面站网数据通过标准通信协议接入,卫星遥感数据通过地面接收站解析后入库,气象雷达数据经质量控制后转换为网格产品。无人机巡查数据经图像识别处理后提取水文参数。各类数据在接入时完成格式统一与元数据标注,确保后续处理可追溯。

### 3.2 自适应质量控制与数据校验机制

数据质量是融合整编的基石。系统设置三道校验关卡:第一道为接入校验,对每路数据进行完整性检查,丢包率超过阈值时触发通信链路告警;第二道为预处理校验,采用滑动窗口均值修正法剔除瞬时异常值,以连续采样数据的均值替代离群点;第三道为模型推理校验,

融合结果需通过置信度评估,置信度低于设定标准的结果标注为待确认,推送至人工复核界面。自适应机制使系统能够根据环境变化调整参数。当湿度升高导致传感器响应迟缓时,系统自动增加采样频率,补偿信号延迟。当设备负载工况变化时,融合模型的阈值参数随之更新,避免固定阈值在变工况下产生误报。参数变化率超过物理允许范围时,系统标记该数据为无效,不参与后续计算。质量控制机制运行后,监测系统误报率显著下降,数据有效利用率提升。在高粉尘、强电磁干扰工况下,系统仍保持稳定运行,诊断结果与人工核查结论一致率达到较高水平。自适应质量控制机制为多源融合整编模型提供可靠数据基础。

### 3.3 分布式融合架构与实时处理策略

融合整编系统采用分布式架构,由全局融合中心与若干融合分中心组成。分中心负责处理数据层和特征层信息,全局中心处理特征层和决策层信息。分中心靠近数据源部署,降低数据传输延迟;全局中心集中算力,完成高阶融合与决策输出。两级之间通过标准化接口通信,支持计算资源动态分配。实时处理策略支持定时采集、事件触发采集、手动临时采集三种模式。定时采集按固定周期获取各站数据,事件触发采集在水位超警或降雨超标时自动启动高频采集。有线采集站具备键同步功能,转速键相信号与监测信号同步采集,用于变工况设备的阶次分析。时序数据库单实例容量支撑百万测点接入,压缩比满足存储需求,处理性能达到实时响应要求。故障预警实行分级管理,包括一般预警、重要预警和紧急预警。以监测点个体生命周期为线索,贯通资产管理流程,形成全流程、全生命周期的系统化管理。通过工业以太网实现大规模设备的远程监测与集中管理,结合数字孪生技术实现“监测站-调度中心”的远程诊断<sup>[4]</sup>。运维人员可远程调阅水位、流量、降雨数据,快速完成异常定位,较现场排查效率大幅提升。融合整编技术与预测性维护相结合,使水文监测由被动响应向主动优化转变。基于历史数据构建的融合模型可提前识别洪水趋势,减少非计划停机,提升运维效率。随着物联网、数字孪生及边缘计算技术的深入发展,水文监测数据融合整编技术将持续优化,为流域安全管理与水资源调度提供技术保障。

### 3.4 动态权重分配与自适应算法优化

多源数据在融合过程中权重分配直接决定输出结果的可靠性。固定权重策略无法反映各数据源在不同水文条件下的贡献差异。需建立动态权重分配机制,根据数据质量、时空分辨率、历史精度三项指标实时调整各数

据源的融合权重。权重分配算法依据数据质量评分确定基础权重。数据经质量控制校验后获得评分,评分高的数据源分配较大权重。依据时空匹配度调整修正权重。卫星遥感数据在无云条件下权重增加,云层覆盖时权重降低。地面站网数据在站点密集区域权重增加,稀疏区域权重降低。依据历史精度分配参考权重。通过对比融合结果与实测值的偏差,计算各数据源的历史精度系数,精度高的数据源获得较高参考权重。自适应算法在权重分配基础上进一步优化融合策略。系统记录每次融合输出与实测值的偏差,将偏差信息反馈至权重计算模块。当某一数据源连续多次产生较大偏差时,系统自动降低其权重,同时提升其他数据源的权重。算法支持在线学习,随着数据量增加,权重分配方案持续优化。动态权重分配机制运行后,融合结果在枯水期的水位拟合误差下降,洪水期的流量预测精度提升。在多源数据同时可用条件下,融合输出与实测值的相关系数较固定权重策略提升。动态权重分配与自适应算法为融合整编模型提供计算层面的优化手段。

### 3.5 数据标准体系与跨平台协同机制

数据标准体系包含四项内容。第一项为数据格式标准,规定水位、流量、降雨、蒸发等要素的字段名称、数据类型、单位、精度。第二项为时间基准标准,统一采用协调世界时作为时间基准,规定数据时间戳的记录规则与时区转换方法。第三项为空间参考标准,统一采用大地坐标系,规定经纬度与投影坐标的转换规则。第四项为质量编码标准,对每条数据附加质量标识,标注数据来源、采集方式、质量等级、缺失原因。跨平台协同机制通过标准化接口实现。数据提供方按照标准格式封装数据,通过消息队列或文件传输方式发送至融合平台<sup>[5]</sup>。融合平台接收数据后自动解析质量编码,完成格式校验与时空配准。各子系统之间通过统一接口通信,支持请求-响应与发布-订阅两种模式。数据标准体系建立

后,新增数据源的接入周期从数周缩短至数天。跨平台数据调用的解析错误率下降,数据传输延迟降低。标准体系使融合整编系统具备横向扩展能力,不同流域、不同管理部门的监测数据可在统一框架下完成融合,支撑流域级乃至跨流域的水资源协同调度。融合整编技术与预测性维护相结合,使水文监测由被动响应向主动优化转变。基于历史数据构建的融合模型可提前识别洪水趋势,减少非计划停机,提升运维效率。

### 结语:

多源水文监测数据融合整编技术使流域水文监测由被动响应向主动优化转变。三级融合整编模型实现了从原始数据到决策信息的逐级加工,动态权重分配与自适应算法显著提升了融合精度,分布式架构增强了系统扩展性与实时处理能力。数据标准体系的建立使跨平台协同效率大幅提升,新增数据源接入周期显著缩短。随着物联网、数字孪生及边缘计算技术的深入发展,融合整编技术将持续优化,为流域安全管理与水资源科学调度提供坚实技术保障。

### 参考文献:

- [1]李晓亮,刘桂伊.生态环境监测数据融合技术在城市大气污染防治中的应用研究[J].安家,2026(3):0049-0051.
- [2]朱国宝.水文水资源监测数据自动化整编技术应用分析[J].水上安全,2025(5):43-45.
- [3]李瑞.多源数据融合技术在城市水文地质勘察中的应用与实践[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2026(1):139-142.
- [4]王潇,梁栋,高梦绯,王琰.基于多源遥感数据的矿区地质环境动态监测技术研究与应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2026(2):029-032.
- [5]王璐,臧冬伟.水文水资源监测数据的自动化整编技术探究[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2025(1):033-036.