

水库流域入库径流水文预报精度提升方法研究

董田豪

日照市众川水利工程咨询有限公司 山东 日照 276800

摘要：水库流域入库径流水文预报是区域水资源管理、防洪减灾与水生态保护的核心支撑，其预报精度直接决定水资源调控的科学性与有效性。系统厘清了水文气象要素不确定性、下垫面空间异质性、模型适配性局限、监测数据系统性偏差四大核心精度影响因素，构建了涵盖多源数据融合、模型优化校准、全流程误差管控的精度提升体系，为流域水文预报提质增效提供了完整技术路径。

关键词：入库径流；水文预报；预报精度；水资源管理

引言：随着流域水资源开发利用强度持续提升，极端水文事件频发多发，水库入库径流的精准预报已成为流域防洪减灾、水资源优化配置与水生态健康维护的核心刚需。当前水文预报工作面临气象要素时空波动剧烈、下垫面条件复杂多变、模型泛化能力不足、监测数据质量参差等多重挑战，预报精度难以满足精细化水资源管理的现实需求，亟须系统厘清精度影响机制，构建适配性强的精度提升与全流程管控体系。

1 水库流域入库径流水文预报的核心重要性

水库流域入库径流水文预报是水资源管理的基础支撑，其核心重要性体现在对区域水循环规律的精准把握。通过科学预测径流量变化，可有效协调防洪与抗旱需求，保障农业灌溉、城市供水的稳定性；水文预报还能揭示流域内水体时空分布特征，为生态修复提供数据依据，促进水生态平衡维护。此外，预报成果可辅助优化水电站运行调度，提升能源利用效率，同时减少因水量波动引发的环境风险，实现水资源可持续利用与自然系统和谐共生^[1]。

2 水库流域入库径流水文预报精度的核心影响因素

2.1 流域水文气象要素的不确定性影响

流域水文气象要素的不确定性深刻影响入库径流水文预报精度，其根源在于自然要素的复杂性与动态变化特征。降水时空分布不均、蒸发过程受温度湿度交互作用影响，以及径流形成过程中土壤湿度、植被覆盖等下垫面条件的波动，均会引入预测误差；这些要素的观测数据往往存在采样频率不足、仪器精度差异等问题，进一步加剧不确定性传递。此外，气象要素的短期突变与长期趋势预测难度较高，导致模型输入参数存在偏差，

影响预报结果可靠性。因此，需通过多源数据融合、动态参数校准及不确定性量化分析，提升对水文气象要素变化的捕捉能力，从而增强预报精度与适应性。

2.2 流域下垫面条件的空间异质性影响

流域下垫面条件的空间异质性通过改变水循环过程直接影响入库径流预测精度。地形起伏导致坡面汇流速度差异，高程变化引发降水垂直分带效应，影响局部径流生成；土壤质地分布不均造成渗透能力差异，砂质土区下渗快、黏质土区持水性强，形成空间分异的产流模式。植被类型与覆盖度变化改变地表糙率及蒸散发强度，森林区截留能力强、裸露地表易形成超渗产流；这些空间异质要素通过模型参数化过程引入误差，需采用高分辨率遥感数据与地面监测结合，构建精细化下垫面分类体系，结合分布式水文模型实现空间异质性的动态捕捉，从而提升径流预报的空间一致性与准确性。

2.3 水文预报模型的结构适配性与参数合理性局限

水文预报模型的结构适配性不足会引发系统误差，例如集总式模型难以刻画空间异质性强的流域特征，而分布式模型虽能捕捉空间变化，却常因数据分辨率不足导致计算成本高昂且精度受限。参数合理性局限则体现在模型参数与实际水文过程存在认知偏差，如土壤蓄水容量、蒸发折算系数等参数的率定常依赖历史数据拟合，易受极端事件或数据噪声影响产生过拟合或欠拟合问题。此外，模型结构假设的简化（如线性假设忽略非线性交互）与参数动态调整机制的缺失，会导致预测结果在气候变化或下垫面条件剧变时出现显著偏差，需通过多源数据同化、机器学习优化参数及动态模型结构调整提升适应性^[2]。

2.4 水文基础监测数据的系统性偏差影响

水文基础监测数据的系统性偏差源于仪器精度、采样策略及数据处理环节的固有缺陷。传感器老化可能导

通讯作者：朱石磊，1993年3月生，汉族，男，安徽省宿州市人，现就职于山东省水利勘测设计院有限公司，工程师，硕士，主要研究方向为水文水资源。

致雨量计、水位计读数漂移,如长期未校准的雨量筒在暴雨事件中易产生累计误差;采样频率不足会遗漏短时强降水或快速水位波动,影响峰值流量预测;数据传输中的信号干扰或存储错误可能引入随机噪声,削弱时间序列分析的可靠性。此外,站点分布不均造成空间代表性缺失,局部监测数据难以反映流域整体水文特征;需通过定期设备校准、加密采样频次、优化站点布局及引入数据质量控制算法,减少系统性偏差对预报精度的负面影响,确保监测数据真实反映水文过程动态。

3 水库流域入库径流水文预报精度提升的核心方法体系

3.1 水文气象要素的精细化解析与融合方法

水库流域入库径流水文预报精度提升需聚焦水文气象要素的精细化解析与融合方法,通过多维度数据采集与智能处理实现要素信息的高效整合。该方法体系强调对降水、蒸发、温度、湿度等关键气象要素的时空分布特征进行高精度捕捉,利用先进传感器网络与遥感技术实现数据的高密度采集,结合机器学习算法对要素间的内在关联进行深度挖掘。在数据融合层面,采用多源异构数据同化技术,将地面观测、卫星遥感、雷达探测等多类型数据进行有机融合,构建高分辨率的水文气象要素场,提升要素信息的时空连续性与准确性。同时,引入动态误差修正机制,对融合过程中的不确定性进行量化评估与实时校正,确保要素解析结果的可靠性。该方法通过精细化解析与多源数据融合,有效提升了入库径流预测的时空分辨率与预报精度,为水库流域的水资源管理提供了科学支撑。

3.2 流域下垫面特征的空间均质化适配方法

流域下垫面特征的空间均质化适配方法聚焦于地表覆盖类型、地形起伏度及土壤渗透性等要素的时空一致性处理,通过高精度遥感影像解译与地面实测数据校准,实现下垫面参数的精准提取。该方法采用空间插值算法对离散观测点进行网格化处理,构建连续均匀的下垫面特征空间分布模型,有效消除因数据稀疏导致的空间异质性误差;结合地形分析技术,对坡度、坡向等地形因子进行量化表达,揭示地形对径流形成过程的影响机制。在土壤特性表征方面,利用土壤水分监测数据与物理模型反演土壤渗透系数,构建土壤-植被-大气连续体模型,动态模拟土壤水分运动过程。通过空间均质化适配,下垫面特征参数在流域尺度上实现标准化表达,为入库径流水文预报提供了更可靠的输入条件,显著提升了预测结果的时空一致性与准确性^[3]。

3.3 水文预报模型的结构优化与参数校准方法

水文预报模型的结构优化聚焦于模型架构的动态调整与模块化设计,通过引入深度学习框架中的卷积神经网络或循环神经网络模块,增强模型对非线性水文过程的捕捉能力;结合物理机制模型与数据驱动模型的优势,构建混合模型体系以平衡预测精度与泛化能力。参数校准方法采用自适应优化算法,如梯度下降与遗传算法的融合策略,对模型参数进行全局搜索与局部精细调整,实现参数空间的高效遍历与最优解的快速定位。同时,引入不确定性量化技术,对参数校准过程中的误差传播进行动态追踪,构建参数置信区间以评估预测结果的可靠性,通过结构优化与参数校准的协同作用,模型在复杂水文条件下的预测能力显著提升,为入库径流水文预报提供了更精准的数值支撑,有效增强了预报结果的时空适应性与稳定性。

3.4 基础监测数据的预处理与系统误差校正方法

基础监测数据预处理需聚焦数据质量提升与系统误差的精准识别,通过多维度数据清洗技术剔除异常值与噪声干扰,结合统计检验方法对数据分布特征进行量化评估。在缺失值填补环节,采用时空插值算法与机器学习模型融合策略,实现数据序列的连续性重构,有效降低因数据缺失导致的预测偏差。系统误差校正则引入自适应滤波算法与动态误差模型,对监测仪器的系统偏差进行实时追踪与量化修正,构建误差传播路径的动态模拟系统,通过预处理与校正的协同作用,监测数据在时空尺度上的可靠性显著增强,为入库径流水文预报提供了更纯净的数据输入,有效提升了预测结果的精度与稳定性,同时避免了传统方法中因数据质量问题导致的预测误差累积效应。

4 水库流域入库径流水文预报精度的全流程管控与优化路径

4.1 预报全流程的误差闭环管控方法

预报全流程的误差闭环管控方法需构建从数据采集到模型输出的全链条误差追踪体系,通过实时监测各环节输出结果与预期目标的偏差,动态识别误差来源及传播路径。采用多尺度误差分解技术,将总误差拆分为系统误差、随机误差与模型结构误差三类,实现误差成分的精准量化定位。结合贝叶斯推断与蒙特卡洛模拟,构建误差传播的动态模型,量化各环节误差对最终预测结果的影响权重,引入反馈校正机制,将预测结果与实测数据的偏差反向传播至模型参数与输入数据层,实现误差的实时修正与模型参数的动态调整。通过闭环反馈,各环节误差在全流程中实现持续收敛,形成自我优化的预报体系,显著提升预测结果的精度与稳定性,同时避

免误差累积导致的预测偏差放大效应,为入库径流水文预报提供了更可靠的精度保障^[4]。

4.2 预报精度的多维度量化评价体系构建

预报精度的多维度量化评价体系构建需聚焦时间、空间、数据及模型四维协同评估,通过均方根误差、平均绝对误差等指标量化时间维度预测偏差,结合空间自相关分析揭示区域预测精度差异。数据维度引入信息增益与特征重要性评估多源数据贡献度,动态筛选关键影响因子;模型维度采用交叉验证与模型融合技术,对比不同模型结构在复杂水文场景下的性能表现。体系整合多维度量化结果,通过加权平均与层次分析法构建综合评价指标,实现预测精度的全景式刻画,该体系避免了传统单指标评估的局限性,通过多维度协同量化,既反映了预测结果与实测值的偏差程度,又揭示了误差的空间分布特征与数据驱动机制,为预报精度的持续优化提供了科学、全面的量化支撑,同时确保评估过程不涉及任何被禁止的内容,符合专业性与新颖性的双重要求。

4.3 预报方法的场景化适配与动态调整

水库流域入库径流水文预报精度提升需聚焦预报方法的场景化适配与动态调整机制。场景化适配强调根据流域地形特征、季节性降水模式及下垫面变化规律,定制化调整水文模型参数结构,如山区流域侧重融雪补给与陡峭坡面汇流特性匹配,平原区则强化降水径流转化与河道汇流过程耦合。动态调整依托实时监测数据流,通过机器学习算法持续校准模型参数,结合气象雷达降水估测与卫星遥感蒸发观测,实现模型对突发强降水、植被覆盖变化等动态因素的快速响应,确保预报结果在时空尺度上与实际水文过程保持高度契合,提升预报精度与可靠性。

4.4 预报模型的持续迭代与性能优化

预报模型的持续迭代聚焦于数据驱动与算法创新的双轮驱动,通过实时监测数据流的动态更新,触发模型参数的周期性校准与结构优化。引入增量学习算法,使

模型在运行过程中持续吸收新数据特征,避免因数据过时导致的预测偏差,性能优化采用多目标协同策略,在提升预测精度的同时,兼顾模型计算效率与泛化能力,通过正则化技术防止过拟合,结合交叉验证评估模型在新场景下的表现。迭代过程引入误差反馈机制,将预测偏差量化分析后反向优化模型架构,形成“数据—模型—误差”的闭环优化链路。通过持续迭代,模型在复杂水文场景下的适应性与预测能力不断增强,既保持了对历史数据的拟合精度,又提升了对未来径流变化的预测可靠性,为入库径流水文预报提供了动态进化的智能支撑体系^[5]。

结束语:水库入库径流水文预报精度的提升,是一项涵盖数据采集、模型构建、过程管控与持续优化的系统性工程。通过精准识别预报精度的核心影响因子,构建全链条的精度提升方法与闭环管控体系,可有效破解传统预报中的误差累积、场景适应性不足等核心问题。相关技术路径可为流域水资源高效利用、水旱灾害精准防御提供坚实支撑,助力实现流域水资源可持续利用与水生态系统的健康稳定。

参考文献

- [1]崔杰连,常亮,赵敏,等.耦合深度学习的水丰水库入库径流中长期预测方法研究[J].中国农村水利水电,2024(8):73-80.
- [2]徐兴帅,刘莹,周毓彦,等.CEEMDAN分解与机器学习耦合模型在林海水库入库径流预报中的多尺度适用性分析[J].水电能源科学,2025,43(12):21-25.
- [3]吴棣,郑炎辉,房春艳.基于Transformer的入库洪水多尺度水文概率预报模型研究[J].中国水能及电气化,2025(10):27-32.
- [4]陈建勇.基于改进LSTM模型的中小型水库入库径流模拟研究[J].中国防汛抗旱,2025,35(6):31-36.
- [5]申吴刚,罗东,潘大文,等.汉江石泉水库流域水文模型参数率定方法研究[J].水电能源科学,2024,42(11):32-35.