

智慧水文背景下测验精度与水文预报协同提升研究

程文波 邹舜

长江水利委员会水文局汉江水文水资源勘测局

DOI:10.32629/hwr.v10i4.6928

[摘要] 智慧水文的发展对测验精度与水文预报的协同提升提出了新要求。本文从多源数据融合、智能算法应用、监测网络优化、预报模型改进及系统集成平台建设五个方面展开研究。通过整合多源数据提升数据完整性,运用智能算法增强模型预测能力,优化监测网络提高数据代表性,改进预报模型适应复杂水文过程,构建集成平台实现数据与模型的高效协同。这些措施旨在解决传统水文测验与预报中的数据分散、模型适应性差等问题,为水资源管理和防灾减灾提供科学依据。

[关键词] 智慧水文; 测验精度; 水文预报; 协同提升; 系统集成

中图分类号: P331 文献标识码: A

Research on the collaborative improvement of measurement accuracy and hydrological forecasting under the background of intelligent hydrology

Wenbo Cheng Shun Zou

Hanjiang Hydrological and Water Resources Survey Bureau of the Hydrological Bureau of the Yangtze River Water Resources Commission

[Abstract] The development of smart hydrology has put forward new requirements for the collaborative improvement of measurement accuracy and hydrological forecasting. This article conducts research from five aspects: multi-source data fusion, intelligent algorithm application, monitoring network optimization, forecast model improvement, and system integration platform construction. By integrating multi-source data to improve data integrity, using intelligent algorithms to enhance model prediction capabilities, optimizing monitoring networks to improve data representativeness, improving forecasting models to adapt to complex hydrological processes, and building an integrated platform to achieve efficient collaboration between data and models. These measures aim to solve the problems of data dispersion and poor model adaptability in traditional hydrological measurements and forecasts, and provide scientific basis for water resource management and disaster prevention and reduction.

[Key words] Smart Hydrology; Test accuracy; Hydrological forecast; Collaborative improvement; system integration

引言

随着全球气候变化和城市化进程的加快,极端水文事件频发,对水资源管理和防灾减灾提出了更高要求。智慧水文作为现代水利发展的重要方向,通过集成物联网、大数据、人工智能等先进技术,实现了水文监测的智能化、自动化和精准化。然而,传统水文测验与预报中存在数据分散、模型适应性差、预报精度不足等问题,难以满足现代水利管理的需求。因此,如何在智慧水文背景下实现测验精度与水文预报的协同提升,成为当前水利领域亟待解决的关键问题。本文从多源数据融合、智能算法应用、监测网络优化、预报模型改进及系统集成平台建设五个方面展开研究,旨在为智慧水文的发展提供理论支持和实践指导。

1 多源数据融合提升测验精度与预报基础

1.1 多源数据融合的必要性的必要性

传统水文测验主要依赖地面观测站网,数据来源单一,空间代表性不足,难以全面反映流域水文状况。尤其在山地丘陵区、小流域及突发性降雨事件中,地面观测站网密度不足的问题尤为突出,导致数据空间代表性差,预报误差较大。多源数据融合通过整合气象雷达、卫星遥感、自动气象站、地面水文站等多种数据源,能够显著提高数据的完整性和准确性,为水文测验和预报提供更全面的信息支持。

1.2 数据融合的技术路径

数据融合包括数据预处理、数据清洗、数据集成和数据分析等环节。数据预处理旨在消除数据中的噪声和异常值,提高数

据质量;数据清洗通过去除重复数据、填补缺失值等方式,确保数据的完整性和一致性;数据集成将不同来源、不同格式的数据进行统一处理,形成标准化的数据集;数据分析则运用统计学、机器学习等方法,挖掘数据中的潜在信息,为水文测验和预报提供科学依据。

1.3多源数据融合的应用效果

多源数据融合能够显著提高水文测验的精度和预报的准确性。例如,融合气象雷达和卫星遥感数据,可以更准确地监测降雨的空间分布和强度,为洪水预报提供更可靠的输入数据;融合地面水文站和自动气象站数据,可以实时监测水位、流量等水文要素的变化,提高预报的时效性。此外,多源数据融合还能够揭示水文过程中的非线性关系,为水文模型的改进提供有力支持。

2 智能算法应用增强预报模型预测能力

2.1智能算法在水文预报中的优势

传统水文预报模型主要基于物理机制或统计方法,难以准确捕捉水文过程中的非线性关系和不确定性。智能算法如深度学习、机器学习等,能够通过学习历史数据中的复杂模式,自动提取影响水文要素变化的关键因素,从而提高预报的准确性和可靠性。与物理模型相比,智能算法具有更强的适应性和泛化能力,能够处理更复杂的水文问题。

2.2智能算法的应用类型

智能算法在水文预报中的应用主要包括深度学习模型、机器学习模型和混合模型等。深度学习模型如卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(RNN)及其变体(如LSTM、GRU),能够处理时序数据和空间数据,适用于径流预报、洪水演进模拟等场景;机器学习模型如支持向量机(SVM)、随机森林(RF)等,能够处理高维数据和非线性关系,适用于降水预报、水质预测等场景;混合模型则结合了物理模型和智能算法的优点,通过引入物理机制约束,提高模型的解释力和预测能力。

2.3智能算法的应用效果

智能算法的应用能够显著提高水文预报的精度和时效性。例如,深度学习模型通过学习历史洪水数据中的复杂模式,能够更准确地预测未来洪水的发生时间、峰值和持续时间;机器学习模型通过挖掘降水数据中的潜在信息,能够更准确地预测降雨的空间分布和强度。此外,智能算法还能够处理多源数据融合中的不确定性问题,提高预报结果的可靠性和稳定性。

3 监测网络优化提高数据代表性

3.1监测网络优化的必要性

传统水文监测网络在长时间运行过程中暴露出了诸多问题,这些问题严重影响了数据质量以及实用性。其监测站点布局缺乏科学规划,常常侧重于部分特定区域,这就导致一些关键地带的监测站点数量稀疏甚至存在缺失情况,使得数据的空间代表性大幅降低。在山区与平原的交界处、支流汇入干流的区域等水文要素变化复杂的地方,监测站点的密度不足,无法精准地捕捉到水文动态。随着气候变化以及人类活动影响的不断加剧,流域的水文状况变得愈发复杂多变,传统的监测网络难以适应

这种新的变化。监测网络的优化工作迫在眉睫,通过合理调整监测站点的位置与数量,能够扩大数据的覆盖范围,提升数据的空间分辨率,从而让数据更全面、更真实地反映流域的水文状况,为后续的水文测验提供详实的基础数据,为精准的水文预报提供可靠的信息支撑,进而保障水利决策的科学合理性。

3.2监测网络优化的策略

开展网络优化监测工作需要综合运用多种策略。密集布局策略着重关注关键区域以及水文要素敏感地带,例如河流源头、容易发生洪涝灾害的区域等,通过大量布设监测站点来提高数据覆盖范围和空间分辨率,从而精准捕捉局部水文变化情况。多层次监测策略依据流域水系特点,在主干流、支流、湖泊等不同层次分别设置监测站点,构建全方位的监测体系,以此全面了解水文状况及其动态变化趋势,进而把握流域整体的水文特征。动态调整策略具备更强的灵活性,它会根据实际监测需求和水文变化情况,诸如季节性水位变化、突发水污染事件等,及时且灵活地调整监测站点的位置与数量,确保监测网络始终保持高效运行,能够持续提供符合实际需求的数据,以适应不断变化的水文监测形势。

3.3监测网络优化的应用效果

网络监测优化成效颇为显著,在数据质量提升方面表现十分突出。采用密集布局与多层次监测相结合的方式,能够细致入微地捕捉水文变化情况,有效消除数据空白区域,从而极大地提高整体监测精度,为水资源研究和管理工作提供精准的数据。运用动态调整策略可使监测工作更具灵活性与及时性,能够迅速聚焦关键数据,在突发水文事件发生时及时获取有效信息。从成本与效率的角度来看,优化后的监测网络可避免盲目布设监测站点,合理配置各类资源,进而降低监测成本。高效的数据采集与传输工作能够提高监测效率,让相关部门及时掌握水文动态信息。上述优势为水资源合理调配、防洪减灾以及水生态保护等工作提供了有力支持,有助于推动水利事业实现可持续发展。

4 预报模型改进适应复杂水文过程

4.1传统预报模型的局限性

传统水文预报模型的构建大多依赖物理机制或者统计方法,在应对复杂水文过程时存在较为明显的短板。基于物理机制的模型,虽然能够依据水文学基本原理对水文循环进行模拟,但是当面对复杂地形、植被覆盖以及土壤特性等因素的交互作用时,很难精准刻画水文过程中的非线性关系。统计方法模型则依赖历史数据的规律,在气候变化导致水文要素分布改变、极端天气事件频繁发生的情况下,历史数据与现状的相似性降低,其预报精度会大幅下降。传统模型具有众多参数,不同参数之间相互影响,调试过程复杂且耗时,需要专业人员凭借经验反复进行尝试,这不仅效率低下,还难以保证找到最优的参数组合。这些问题导致传统模型在实际应用中,难以满足现代水利管理对于预报精度、时效性和普适性的高要求,限制了其在复杂水文情境下的有效应用。

4.2预报模型改进的方向

耦合型模型的发展是重要趋势, 其将降雨径流模型、洪水演进模型以及流域水文响应模型进行有机融合, 打破了单一模型的局限, 综合考量不同尺度(像局部降雨与整个流域)和不同过程(如降水、产流、汇流)的耦合效应, 能更全面地反映复杂水文系统的动态变化, 进而提升预测能力。数据同化技术的应用为模型改进注入了新活力, 它把实时观测数据动态融入模型运行, 利用观测信息修正模型状态, 有效弥补初始条件与边界条件的不确定性, 增强模型对短期水文变化的捕捉能力, 提高预报的稳定性和可靠性。模型参数优化借助智能算法, 例如遗传算法、粒子群优化算法等, 模拟自然进化或群体行为, 自动搜索最优参数组合, 替代传统试凑调参方法, 大幅提高参数寻优效率和全局最优性, 使模型更适应复杂的水文环境。

4.3 预报模型改进的应用效果

耦合型模型发展后, 能更精准模拟复杂水文过程, 如山区流域的降雨产流, 考虑地形起伏、植被截留等因素对产流的影响, 以及河道洪水演进中河床糙率、断面形状等变化, 准确刻画非线性关系和不确定性, 提高预报精度。数据同化技术应用使模型能及时根据实时观测数据调整状态, 如在洪水预报中, 结合实时水位、流量观测数据, 快速修正模型预测, 提升预报时效性和准确性, 为防洪决策提供更可靠依据。

5 系统集成平台建设实现数据与模型高效协同

5.1 系统集成平台建设的必要性

传统水文测验与预报中存在数据分散、模型独立等问题, 导致数据与模型之间难以实现高效协同。系统集成平台建设通过整合数据采集、存储、处理、建模、预报和发布等环节, 形成统一的数据流和业务流, 提高整体运行的协调性和实时性。同时, 系统集成平台还能够提供可视化的操作界面和智能化的决策支持功能, 为水资源管理和防灾减灾提供更有力的支持。

5.2 系统集成平台建设的关键技术

系统集成平台建设的核心技术包括数据集成技术、模型集成技术和智能决策支持技术等。数据集成技术通过整合多源数据源, 形成标准化的数据集, 为模型提供可靠的数据支持; 模型集成技术通过集成多种预报模型(如物理模型、统计模型、智能

模型等), 形成多模型集成预报体系, 提高预报的稳定性和准确性; 智能决策支持技术则运用人工智能算法(如机器学习、深度学习等)对预报结果进行智能分析和解读, 为决策者提供科学合理的建议。

5.3 系统集成平台建设的应用效果

系统集成平台建设能够显著提高水文测验与预报的协同效率。通过数据集成技术, 可以实现多源数据的实时共享和高效利用; 通过模型集成技术, 可以形成多模型集成预报体系, 提高预报的稳定性和准确性; 通过智能决策支持技术, 可以为决策者提供科学合理的建议, 提高决策的科学性和时效性。此外, 系统集成平台建设还能够降低系统运维成本, 提高系统的可扩展性和可维护性。

6 结语

智慧水文背景下测验精度与水文预报的协同提升是现代水利发展的重要方向。通过多源数据融合、智能算法应用、监测网络优化、预报模型改进及系统集成平台建设等措施, 可以显著提高水文测验的精度和水文预报的准确性, 为水资源管理和防灾减灾提供科学依据。这些措施的实施需要政府、企业和科研机构的共同努力和协作, 形成产学研用相结合的创新体系。同时, 还需要加强人才培养和技术交流, 推动智慧水文技术的不断创新和发展。通过这些努力, 可以推动智慧水文技术的广泛应用和深入发展, 为现代水利管理提供更有力的支持。

[参考文献]

- [1]李兴汉, 郭恒睿, 蔡宏伟, 等. 智慧水文杆一体化设备研发及应用[J]. 现代信息科技, 2025, 9(23): 188-191+198.
- [2]邱辉, 王乐, 董轩, 等. 长期水文预测技术研究进展与智慧预测系统探索[J]. 人民长江, 2025, 56(12): 253-263.
- [3]田健, 曾穗平, 曾坚. “智慧”识灾与“韧性”承灾——基于生态水文调节的雨洪安全格局重构及规划方法[J]. 城市规划, 2025, 49(08): 118-130.

作者简介:

程文波(1990—), 男, 湖北襄阳人, 工程师, 研究方向: 水文预报。