

# 水文勘测中信息技术的实践研究

徐生斌

新疆维吾尔自治区阿克苏水文勘测中心

DOI:10.12238/hwr.v9i10.6590

**[摘要]** 随着信息技术的迅猛发展,传统水文勘测技术正经历着深刻的数字化、智能化变革。本文旨在系统探讨现代信息技术在水文勘测全流程中的深度融合与实践应用。研究表明,以“3S”技术为核心的空天地一体化监测体系,极大地拓展了水文数据的获取维度与时效性;物联网技术实现了水文参数的实时、自动化采集与传输;基于GIS的水文数据管理平台则有效提升了数据整合、可视化与空间分析能力;而大数据分析与人工智能模型的引入,为复杂水文过程的机理揭示与高精度预测预报提供了全新范式。

**[关键词]** 水文勘测; 信息技术; 遥感地理信息系统; 物联网; 人工智能

中图分类号: TP18 文献标识码: A

## A Practical Study on Information Technology in Hydrological Survey

Shengbin Xu

Xinjiang Uygur Autonomous Region Aksu Hydrological Survey Center

**[Abstract]** With the rapid advancement of information technology, traditional hydrological survey techniques are undergoing profound digital and intelligent transformations. This paper systematically explores the deep integration and practical application of modern information technology across the entire process of hydrological survey. Research demonstrates that the integrated sky-ground monitoring system, centered on "3S" technology, significantly expands the dimensionality and timeliness of hydrological data acquisition. The Internet of Things (IoT) enables real-time, automated collection and transmission of hydrological parameters. GIS-based hydrological data management platforms effectively enhance data integration, visualization, and spatial analysis capabilities. Furthermore, the introduction of big data analytics and artificial intelligence models provides a new paradigm for revealing the mechanisms of complex hydrological processes and achieving high-precision prediction and forecasting.

**[Key words]** Hydrological survey; Information technology; Remote Sensing (RS); Geographic Information System (GIS); Internet of Things (IoT); Artificial Intelligence (AI)

### 引言

水文勘测作为水文学与水资源管理的基础性工作,其核心任务在于系统地收集、处理与分析自然界中水体的分布、运动、循环及其物理化学特性等各类信息。传统的水文勘测主要依赖于设立固定站点进行人工观测与数据记录,这种方式虽积累了宝贵的历史资料,但其固有的局限性也日益凸显:站点空间分布稀疏导致代表性不足,难以捕捉水文要素的空间异质性;人工观测频率低、时效性差,无法满足对暴雨、洪水等突发性水事件的快速响应需求;数据记录、整理与归档过程繁琐,易引入人为误差,且信息共享与综合利用效率低下。这些挑战严重制约了水文科学的发展以及现代化水资源管理决策的水平。

信息技术以其在数据获取、传输、存储、处理与分析方面的巨大优势,正引领水文勘测从传统、离散、后验的模式,向自

动化、集成化、实时化和智能化的方向演进。具体而言,遥感技术实现了对大范围地表水、土壤水、降水等要素的非接触、周期性监测;全球导航卫星系统为水文站点提供了高精度的空间定位基准,并催生了移动勘测等新型作业模式;地理信息系统作为强大的空间数据管理与分析引擎,将多源水文数据进行有效整合与可视化,支撑了复杂的空间建模与分析;物联网技术通过布设智能传感节点与构建无线传输网络,实现了水文数据的实时采集与远程回传;而近年来兴起的大数据、云计算与人工智能技术,则开始深入挖掘海量水文数据中蕴含的深层规律,推动水文模型从经验性、概念性向具有物理机制与自学习能力的智能化模型升级。因此,系统性地研究信息技术在水文勘测中的实践应用,不仅是对当前技术发展现状的总结,更是对未来水文工作范式转型的前瞻性思考。

## 1 水文勘测信息化的理论基础与技术框架

水文勘测的信息化转型,其核心在于将水循环过程的物理系统与由信息技术构成的数字系统进行深度耦合,构建一个能够精准感知、高效传输、智能处理与科学决策的“数字水文”体系。这一转型的理论基础源于系统论、信息论与控制论,它将流域视为一个复杂的巨系统,通过信息流来驱动对物质流(水量)和能量流的认知与管理。从技术框架层面看,现代水文勘测信息技术体系可划分为四个紧密关联的层次:感知层、传输层、平台层与应用层。

(1)感知层是体系的神经末梢,负责水文要素的原始数据采集。它超越了传统雨量筒、水位尺的范畴,囊括了由卫星、航空遥感、无人机(UAV)构成的空天基遥感平台,以及由雷达水位计、多普勒流速剖面仪(ADCP)、土壤水分传感器、水质多参数在线监测仪等构成的陆基/水基物联网传感网络。这一层级的核心技术在于通过多平台、多光谱、多时相的协同观测,实现水文要素从“点”到“面”的立体化、高频率感知。

(2)传输层是体系的神经网络,负责将感知层采集的数据可靠、及时地传输至数据处理中心。根据监测站点所处环境(如偏远山区、城市地下管网),可采用多种通信技术组合,包括移动通信网络(4G/5G)、低功耗广域物联网(LPWAN,如LoRa、NB-IoT)、卫星通信及光纤专网等。该层级的关键在于解决数据在复杂环境下传输的稳定性、实时性与能耗问题。

(3)平台层是体系的中枢大脑,通常以基于云计算的水文数据资源中心或云平台形式存在。它集成了地理信息系统(GIS)、时空数据库、模型库与知识库,承担着对海量多源异构水文数据的接收、解码、质量控制、标准化存储、融合处理与可视化表达等任务。平台层为上层应用提供了统一的数据服务接口和强大的计算支撑环境。

(4)应用层是体系的价值出口,直接面向水文勘测与管理的各项业务需求。它基于平台层提供的数据与算力,开发各类专业化应用系统,如洪水预报预警系统、水资源优化配置系统、水环境质量评估系统、水土保持监测系统等。在这一层级,水文机理模型、数据驱动模型(如机器学习、深度学习)与优化算法被深度集成,实现从数据到信息、再到知识与决策的升华。

## 2 空天地一体化监测技术的综合应用

“空天地一体化”监测是现代水文勘测技术体系的典型特征,它通过协同利用卫星遥感、航空遥感、无人机遥感和地面物联网传感,构建了一个立体、多维、无缝的监测网络。

### 2.1 卫星遥感(RS)技术

卫星遥感以其宏观、快速、周期性的特点,在水文勘测中扮演着不可替代的角色。在水体识别与水域动态监测方面,利用光学传感器(如Landsat系列、Sentinel-2)的多光谱数据,通过构建归一化差分水体指数(NDWI)、改进的归一化差分水体指数(MNDWI)等光谱指数,可以高效、准确地提取大范围的水体边界,用于监测湖泊、水库的水面面积变化,以及洪泛区的淹没范围。在降水监测方面,搭载于静止气象卫星(如风云四号)和极轨卫

星上的微波与红外传感器,能够反演得到高时空分辨率的全球降水数据产品(如GPM、IMERG),有效弥补了地面雨量站空间覆盖的不足,尤其适用于地形复杂、站点稀疏地区的水文模拟。在土壤水分监测方面,主动和被动微波遥感(如SMAP、SMOS任务)能够穿透一定深度的植被,直接探测地表土壤的介电常数,从而反演得到土壤体积含水量,为旱情监测、径流预报提供关键下垫面信息。此外,重力卫星(如GRACE及其后继任务)甚至能够监测大尺度流域的陆地水储量变化,为区域水资源评价提供了全新的视角。

### 2.2 航空与无人机(UAV)遥感技术

航空与无人机遥感作为卫星遥感的有力补充,填补了卫星观测在时空分辨率与灵活性上的空白。航空遥感通常搭载高光谱成像仪、激光雷达(LiDAR)等高性能传感器,用于进行大比例尺的水文地质测绘、海岸带精细地形测量等专项任务。而无人机遥感则以其极高的机动性、厘米级的分辨率和低成本的优势,在中小流域水文勘测中大放异彩。通过搭载轻量化可见光、多光谱或热红外相机,无人机可快速获取流域的高分辨率正射影像和数字表面模型(DSM),用于精准提取河道断面、识别污染源、调查水土流失状况。特别是,结合摄影测量技术,无人机可生成高精度的数字高程模型(DEM),这是构建分布式水文模型的基础。激光雷达无人机能够穿透植被冠层,获取高精度的数字地形模型(DTM),对于洪泛区建模、河道行洪能力分析至关重要。

### 2.3 地面物联网(IoT)传感技术

地面物联网传感网络构成了“空天地”体系的基石,负责提供连续、精准的“点”上数据,用于验证遥感反演结果和驱动高精度模型。现代水文传感器正朝着微型化、智能化、低功耗的方向发展。例如,非接触式的雷达水位计和超声波水位计避免了泥沙、水草的干扰;声学多普勒流速剖面仪(ADCP)可快速测量整个断面的流速分布,极大地提高了流量测验的效率和精度;基于物联网技术的水质自动监测站,能够对pH、溶解氧、浊度、氨氮、化学需氧量(COD)等多项关键指标进行原位、实时监测。这些传感器通过无线通信模块组网,将数据自动上传至数据中心,实现了从“人工定时巡测”到“自动化遥测”的根本性转变,为实时水文预报与调度提供了数据保障。

## 3 地理信息系统(GIS)与水文数据集成管理的实践分析

地理信息系统(GIS)作为处理空间数据的核心技术,在水文勘测信息管理中发挥着“操作系统”般的关键作用。它将水文数据固有的空间属性与数据库管理、空间分析及可视化功能完美结合。

首先,GIS是构建水文空间数据库的理想平台。它将分散的、不同来源、不同格式的数据(如站点属性、遥感影像、数字高程模型、土壤类型图、土地利用图、气象栅格数据等)进行坐标统一、格式标准化与一体化存储,形成统一的水文地理信息“一张图”。这种集成化管理彻底改变了以往数据孤岛的局面,极大地便利了数据的查询、检索与更新。

其次, GIS提供了强大的空间分析工具, 直接服务于水文分析。基于DEM, 可以利用GIS的水文分析模块(如ArcGIS的Hydrology工具集)自动提取流域的河网水系、子流域划分、流域边界以及流向、汇流累积量等地形特征参数。这些参数是构建分布式水文模型的必备输入。此外, GIS的叠加分析、缓冲区分析、网络分析等功能, 可用于水源地保护区划定、洪水风险区划、供水管网优化等具体应用。

最后, GIS卓越的可视化表达能力, 使得复杂的水文信息能够以直观、易懂的图形方式呈现。无论是水位等值线、雨量分布图、水质评价图, 还是洪水演进的动态模拟, GIS都能生成专业的地图产品和三维场景, 为决策者提供最直接的信息支持, 提升了水文信息服务的水平。

#### 4 大数据与人工智能在水文模拟与预测中的前沿实践

随着水文监测数据的爆炸式增长, 我们已进入水文大数据时代。传统的基于物理机理的确定性水文模型在处理海量、多源、高维数据时面临校准困难、计算复杂等挑战。而以机器学习和深度学习为代表的人工智能技术, 以其强大的非线性映射、特征自提取和高并行计算能力, 为水文模拟与预测开辟了新的道路。

(1) 在水文预报领域, 数据驱动模型展现出显著优势。对于短期洪水预报, 长短期记忆网络(LSTM)、门控循环单元(GRU)等递归神经网络模型能够卓越地学习水文时间序列中的长期依赖关系, 仅以降水和流量历史序列作为输入, 即可实现对未来数小时至数天流量的高精度预测。相比传统概念性模型, LSTM模型通常无需复杂的产汇流参数率定, 且在资料丰富地区表现更佳。对于中长期径流预报, 则常结合气候指数(如ENSO)、大气环流因子等, 利用随机森林、梯度提升机(如XGBoost)等集成学习算法或卷积神经网络(CNN)进行预测, 为水资源规划与调度提供依据。

(2) 在水文信息处理与挖掘方面, 人工智能同样大显身手。例如, 利用计算机视觉技术, 可以对遥感影像进行智能解译, 自动识别云图、提取水体或分类土地利用; 利用自然语言处理(NLP)技术, 可以从历史文献、监测报告中自动抽取水文事件信息, 构建知识图谱。此外, AI技术还可用于水文时间序列的异常检测与数据质量控制, 自动识别并标记因传感器故障或传输干扰产生的异常数据点, 提升数据产品的可靠性。

(3) 需要强调的是, 数据驱动模型并非要完全取代物理模型, 二者正走向融合。一种趋势是“物理机制约束的数据驱动模型”,

即在机器学习模型的损失函数中引入物理守恒定律(如水量平衡、能量守恒)作为约束条件, 使AI的预测结果既符合数据规律, 也满足物理规律。另一种趋势是“异源数据同化”, 利用集合卡尔曼滤波(EnKF)等数据同化技术, 将遥感、地面监测等多源观测数据实时融入物理水文模型中, 动态修正模型的初始场和状态变量, 从而显著提高模拟与预报的准确性。

#### 5 结束语

尽管信息技术在水文勘测中的应用取得了显著成效, 但仍面临一系列挑战。技术层面, 多源数据的融合与同化算法仍需深化, 如何最优地整合不同时空分辨率、不同精度和不确定性的数据是一个核心问题。遥感技术在对地下水、壤中流等垂直方向水运动的直接探测能力仍然有限。AI模型的可解释性(“黑箱”问题)及其在无资料或缺资料地区的泛化能力有待提高。管理层, 数据共享机制不健全、标准不统一、信息安全风险以及复合型人才培养不足等问题, 制约着技术效益的充分发挥。

展望未来, 水文勘测信息技术将呈现以下发展趋势: (1) 走向真正的智能化与先知化。人工智能将与水文物理机理更深层次融合, 发展出具有强泛化能力和可解释性的下一代水文智能体, 实现从“监测现状”到“预测未来”再到“预演方案”的跨越。(2) 构建数字孪生流域。基于全要素感知、高速通信、云边协同计算和精细模型, 在数字空间中构建与物理流域一一对应的虚拟映像, 即数字孪生流域。它能够实时模拟、监控、诊断和预测流域的水文状态, 为极端事件应对、工程调度演练和水资源优化配置提供沉浸式的决策实验场。(3) 边缘计算的深化应用。为降低数据传输带宽和云端计算压力, 提高实时响应能力, 越来越多的智能算法将下沉至监测设备边缘端。边缘计算节点能够就地完成数据预处理、质量控制和模型初步推理, 只将有效信息或预警信号上传至云平台。

#### [参考文献]

- [1] 张建云. 智慧水文关键技术与发展展望[J]. 水科学进展, 2019, 30(1): 1-11.
- [2] 宋献方, 马英, 卜红梅. 水文遥感研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2018, 37(10): 1304-1315.
- [3] 刘昌明, 田巍, 白鹏. 物联网技术在水文水资源领域的应用与挑战[J]. 水利学报, 2020, 51(9): 1027-1037.

#### 作者简介:

徐生斌(1990--), 男, 汉族, 甘肃武威人, 大学本科, 工程师, 研究方向为水文勘测。