

# 水文水资源领域技术的应用及推广

吴涛

新疆维吾尔自治区水利水电规划设计技术中心 新疆 乌鲁木齐 830000

**摘要:** 在全球气候变化加剧、人口持续增长和经济社会快速发展的背景下,水资源短缺、水环境污染与洪涝灾害等水问题日益突出,对国家水安全构成严峻挑战。水文水资源作为支撑水资源管理、防洪减灾、生态保护和可持续发展的基础性学科,其技术体系的创新与应用已成为解决上述问题的关键路径。本文系统梳理了现代水文水资源领域的核心技术体系,包括遥感与地理信息系统(RS/GIS)、水文模型、智能监测传感、大数据与人工智能、数字孪生流域等,并深入分析了这些技术在水资源评价、洪水预报预警、水资源优化配置、水生态修复及智慧水利建设中的典型应用场景。在此基础上,本文剖析了当前技术推广过程中面临的体制壁垒、数据孤岛、标准缺失、人才断层及资金不足等现实障碍,并从政策引导、机制创新、标准体系建设、人才培养与国际合作等维度提出了系统性的推广策略。研究表明,推动水文水资源技术的深度融合与规模化应用,是实现水资源高效利用、提升水安全保障能力和推进生态文明建设的重要支撑。

**关键词:** 水文水资源; 遥感与GIS; 水文模型; 人工智能; 数字孪生

## 引言

全球气候变化加剧、人类活动增强,导致水资源时空分布不均、供需矛盾突出、水生态系统退化等问题频发。联合国《2023年世界水发展报告》指出,全球近20亿人生活在高度缺水的国家,超过40%的人口受到水资源压力的影响。在中国,人均水资源量仅为世界平均水平的四分之一,且南多北少、夏秋多冬春少的格局显著,加之工业化和城镇化进程中的污染排放,使得水资源管理面临前所未有的复杂局面。传统水文水资源管理依赖地面站点观测和经验判断,存在数据覆盖不足、响应滞后等问题,难以满足新时代“精准治水、科学管水、智慧用水”的需求。近年来,信息技术、空间技术、人工智能等新兴科技迅猛发展,为水文水资源领域带来变革。遥感、地理信息系统、物联网、大数据、云计算、人工智能及数字孪生等技术的交叉融合,正重塑水文监测、模拟、预测与决策支持体系。系统梳理这些关键技术的发展现状,探讨其在实际业务中的应用成效,并分析技术推广的瓶颈与对策,对提升国家水治理能力现代化水平、保障水安全、推动高质量发展,具有重要的理论和实践意义。

## 1 水文水资源领域的核心技术体系

### 1.1 遥感与地理信息系统(RS/GIS)

遥感技术通过卫星、无人机等平台获取地表信息,能够实现大范围、高频次、非接触式的水文要素监测。例如,利用Landsat、Sentinel系列卫星影像可反演地表水体面积、土壤含水量、植被覆盖度等关键参数;

GRACE(重力恢复与气候实验)卫星则能监测区域地下水储量的动态变化。地理信息系统则为海量、多源、异构的水文空间数据提供了强大的存储、管理、分析与可视化平台。RS与GIS的结合,极大地拓展了水文监测的时空尺度,为流域尺度的水资源综合评估与管理奠定了数据基础。

### 1.2 现代水文模型

水文模型是理解和预测水文过程的核心工具。从早期的经验模型(如单位线法)到物理概念性模型(如新安江模型、HEC-HMS),再到分布式物理水文模型(如SWAT、VIC、MIKESHE),模型的机理描述能力和空间分辨率不断提升<sup>[1]</sup>。近年来,耦合气象-水文-水动力过程的一体化模型(如WRF-Hydro)成为研究热点,能够更真实地模拟从降雨到径流、汇流乃至洪水演进的全过程,显著提高了洪水预报的精度和预见期。

### 1.3 智能监测与传感网络

基于物联网技术的智能水文监测网络正逐步取代传统人工观测。各类高精度、低功耗的传感器(如雷达水位计、ADCP流速仪、水质多参数探头)被广泛部署于河流、水库、地下水井等关键节点,通过无线通信技术(如NB-IoT、LoRa)将实时数据回传至数据中心。这不仅实现了水文要素的分钟级甚至秒级监测,还大大降低了人力成本和安全风险,为实时预警和应急调度提供了第一手资料。

### 1.4 大数据与人工智能(AI)

水文水资源领域产生了海量的时空数据,形成了

典型的“水文大数据”。人工智能，特别是机器学习（ML）和深度学习（DL），为此类数据的挖掘与价值提取提供了强大工具。长短期记忆网络（LSTM）、卷积神经网络（CNN）等深度学习模型在径流预测、水质模拟、干旱识别等方面展现出超越传统统计模型的性能。AI技术能够自动学习复杂的非线性水文规律，有效处理数据缺失和噪声干扰，为智能决策提供支持。

### 1.5 数字孪生流域

数字孪生流域是上述各项技术的集大成者，它通过构建物理流域的虚拟映射，在数字空间中集成静态地理信息与动态感知数据，利用机理模型与数据驱动模型进行仿真推演，实现对流域水循环全过程的“镜像”复现、实时监控、模拟预测和优化调控。它是智慧水利的核心载体，代表了水文水资源技术发展的最高形态和未来方向。

## 2 技术在水文水资源管理中的典型应用

### 2.1 水资源评价与承载力分析

传统的水资源评价受限于站点稀疏，难以准确刻画区域水资源的时空分布。借助RS/GIS技术，可以融合多源遥感数据（如降水、蒸散发、土壤湿度、积雪）与地面观测数据，构建高时空分辨率的水资源评价模型。例如，利用MODIS蒸散发产品和TRMM/GPM降水数据，可以对无资料或资料稀缺地区的水资源量进行估算。在此基础上，结合社会经济数据，通过系统动力学或投入产出模型，可定量评估区域水资源承载力，为国土空间规划和产业布局提供科学依据。

### 2.2 洪水预报预警与防洪调度

现代洪水预报已从单一站点预报向流域面雨量预报、洪水过程预报和淹没风险预报转变。以长江、淮河等大江大河为例，水利部门已建成集气象数值预报、分布式水文模型、一二维水动力耦合模型于一体的精细化洪水预报系统。该系统能够提前数天甚至一周预报洪水过程，并通过数字孪生平台直观展示洪水演进路径和淹没范围，为人员转移、物资调配和水库群联合调度提供精准决策支持<sup>[2]</sup>。2020年长江流域特大洪水期间，此类系统在科学调度三峡等水库、有效减轻中下游防洪压力方面发挥了关键作用。

### 2.3 水资源优化配置与调度

面对复杂的水资源供需矛盾，智能优化算法（如遗传算法、粒子群优化）与水文模型相结合，可求解多目标、多约束的水资源优化配置问题。在黄河流域，通过构建全流域水资源调度模型，综合考虑生活、生产、生态用水需求，实现了跨省区、跨行业的水资源统一调

度。南水北调工程更是建立了世界领先的自动化调度系统，利用实时监测数据和预报信息，动态调整泵站运行和闸门开度，确保了供水的安全、高效与公平。

### 2.4 水生态修复与保护

水文情势是维系河流健康生态的基础。基于生态水文学原理，利用水文模型可以模拟不同来水情景下河道内生态流量的满足程度，从而制定科学的生态调度方案。例如，在黄河下游实施的“调水调沙”措施，就是通过人造洪峰冲刷河床，既解决了泥沙淤积问题，又改善了河口湿地的生态环境。此外，利用高光谱遥感技术可以对湖泊、水库的藻类水华进行早期识别与动态监测，为水污染防治提供靶向信息。

### 2.5 智慧水利与数字政府建设

水文水资源技术是智慧水利的基石。全国水利一张图、国家水资源监控能力建设项目等重大工程，整合了全国数十万个监测站点的数据，构建了统一的数据底板。在此基础上，各级水行政主管部门开发了涵盖水资源管理、河湖监管、工程运行、防汛抗旱等业务的智慧应用平台。这些平台通过大屏、移动端等多种形式，为管理者提供“一图统览、一网通办”的服务，极大地提升了水治理的精细化、智能化和现代化水平。

## 3 技术推广面临的挑战与障碍

尽管水文水资源技术取得了长足进步，但其从实验室走向大规模业务化应用仍面临诸多挑战。

### 3.1 体制机制壁垒

水文水资源管理涉及水利、生态环境、自然资源、住建、农业等多个部门，“九龙治水”的格局导致数据共享困难、业务协同不畅。各部门自建系统往往形成信息孤岛，难以实现数据的互联互通和业务的无缝衔接，制约了技术的整体效能发挥。

### 3.2 数据共享与开放不足

高质量的数据是技术应用的前提。然而，大量宝贵的水文、气象、地质、社会经济数据分散在不同机构，受制于数据安全、产权归属、利益分配等因素，开放共享程度远未达到理想状态。数据格式不统一、元数据缺失、历史数据数字化率低等问题也普遍存在，增加了数据融合与应用的难度。

### 3.3 技术标准与规范缺失

新兴技术的快速发展与相对滞后的标准体系建设之间存在矛盾。例如，对于AI模型在水文预报中的应用，尚缺乏统一的性能评估标准、验证流程和准入机制。不同厂商提供的软硬件接口不兼容，也给系统的集成与维护带来困扰，不利于形成良性的技术生态。

### 3.4 专业复合型人才匮乏

水文水资源技术的交叉融合特性，要求从业人员既懂水文业务，又精通信息技术。然而，当前高校培养体系和在职培训机制尚不能完全满足这一需求，导致“懂水的不懂IT，懂IT的不懂水”的人才断层现象，严重制约了技术的深度应用与创新。

### 3.5 资金投入与长效运维机制不健全

先进技术的部署、集成与更新需要持续、稳定的资金支持。许多地方，尤其是经济欠发达地区，受限于财政能力，难以承担高昂的初期建设和后期运维成本。部分项目存在“重建设、轻应用，重硬件、轻软件”的倾向，导致系统建成后未能充分发挥效益，甚至沦为“僵尸系统”。

## 4 推进水文水资源技术应用与推广的策略建议

### 4.1 强化顶层设计与政策引导

国家层面应进一步完善水治理体系，明确牵头部门，打破部门壁垒，建立跨部门的协调联动机制。出台鼓励技术创新与应用的专项政策，在项目立项、资金安排、考核评价等方面向集成化、智能化的解决方案倾斜<sup>[3]</sup>。将数字孪生流域建设纳入国家新基建和数字政府建设的总体规划，提供战略引领。

### 4.2 构建统一开放的数据共享生态

加快制定并强制推行水文水资源数据的分类、编码、交换与共享标准。依托国家政务数据共享交换平台，建设国家级和省级水数据资源池，推动涉水数据“应归尽归、应享尽享”。在保障国家安全和个人隐私的前提下，探索建立公共数据授权运营和有偿使用机制，激发市场活力。

### 4.3 加快标准规范体系建设

由行业主管部门牵头，联合科研院所、高校和龙头企业，加快制定涵盖数据采集、模型构建、系统集成、安全运维等全链条的技术标准与规范<sup>[4]</sup>。特别是要建立AI等新技术在水文业务应用中的伦理准则、验证框架和监管办法，确保技术应用的安全、可靠与可控。

### 4.4 创新人才培养与引进模式

改革高等教育课程体系，增设“智慧水利”、“水信息学”等交叉学科方向。鼓励产学研用深度融合，通过共建实验室、实习基地等方式，培养学生的实践能

力。加大对基层水利技术人员的信息化培训力度，同时积极引进高端信息技术人才，打造一支既精通业务又掌握技术的复合型人才队伍。

### 4.5 拓宽投融资渠道，保障长效运维

建立以政府投入为主导、社会资本积极参与的多元化投融资机制。对于具有公共产品属性的基础设施（如监测网络、数据平台），应由财政予以保障；对于可市场化的应用服务（如智慧灌区、企业节水诊断），则可通过PPP、特许经营等模式吸引社会资本。同时，必须将系统运维费用纳入常态化预算，确保技术成果能够长期、稳定地服务于水治理实践。

## 5 结语

水文水资源领域的技术革新正处于一个前所未有的黄金时代。以遥感、物联网、大数据、人工智能和数字孪生为代表的新一代信息技术，正以前所未有的深度和广度赋能水资源的监测、模拟、管理和决策。这些技术的应用，不仅显著提升了我们对水循环规律的认知水平，更在应对水资源短缺、水灾害频发、水生态退化等全球性挑战中展现出强大的实践价值。然而，技术的价值最终体现在其能否被广泛、有效地应用于解决实际问题。当前，体制机制障碍、数据壁垒、标准缺失、人才短板和资金约束等因素，仍是制约技术推广的主要瓶颈。未来，必须坚持系统观念，强化顶层设计，破除制度藩篱，构建开放共享的数据生态，完善标准规范体系，并着力培养复合型人才队伍。唯有如此，才能打通技术从“实验室”到“田间地头”、从“图纸”到“现实”的“最后一公里”，真正释放科技创新的巨大潜能，为保障国家水安全、建设人水和谐的美丽中国提供坚实有力的科技支撑。

## 参考文献

- [1]赵文鑫.水文水资源领域技术需求分析及推广应用[J].建筑工程技术与设计,2021(21):1939.
- [2]王淼.水文水资源领域技术的推广及应用分析[J].建筑工程技术与设计,2020(1):143.
- [3]赵继伟.水文水资源领域技术的推广及应用分析[J].建材与装饰,2021,17(3):177-178.
- [4]陆校宇.水文水资源信息化建设现状及优化探析[J].水利电力技术与应用,2025,7(5).