

# 水资源调查与管理的多源数据融合技术研究

杨孝杰

中化地质矿山总局吉林地质勘察院

DOI: 10.12238/jpm.v6i5.7966

**[摘要]** 随着遥感技术、物联网和地理信息系统的发展，水资源领域产生了大量异构数据。如何有效整合这些数据成为提高水资源管理效率的关键。通过整合这些多源数据，可实现更精准的水资源管理、可持续利用和灾害防控。本文研究探讨了多源数据融合技术在水资源调查与管理中的应用，系统分析了多源数据融合的技术框架、关键算法和应用案例，并提出了未来发展方向。

**[关键词]** 多源数据融合；遥感技术；物联网；地理信息系统；大量异构数据

## Research on multi-source data fusion technology for water resources survey and management

Yang Xiaojie

Jilin Geological Survey Institute, China National Chemical Geological and Mining Administration

**[Abstract]** With the development of remote sensing technology, the Internet of Things, and geographic information systems, a large amount of heterogeneous data has emerged in the water resources sector. How to effectively integrate this data is key to improving the efficiency of water resource management. By integrating these multi-source data, more precise water resource management, sustainable utilization, and disaster prevention can be achieved. This paper explores the application of multi-source data fusion technology in water resources investigation and management, systematically analyzes the technical framework, key algorithms, and application cases of multi-source data fusion, and proposes future directions.

**[Key words]** multi-source data fusion; remote sensing technology; Internet of Things; geographic information system; large amount of heterogeneous data

### 引言

水资源是人类生存和社会发展的基础性资源。传统水资源调查方法存在数据单一、时效性差等局限。多源数据融合技术通过整合卫星遥感、地面监测、社会感知等多维度数据，为水资源精准调查和科学管理提供了新的技术途径。通过合理选择模型并整合多源数据，水资源模拟可为可持续管理提供科学依据，助力应对气候变化和人口增长带来的挑战。通过合理选择模型结构、优化参数并量化不确定性，水文模型可为水灾害防治、水资源规划和生态保护提供科学支持。

#### 1. 水资源多源数据采集

水资源多源数据来源广泛，涉及遥感、地面监测、模型模拟和社会经济统计等多个领域。近年来随着计算机、大数据的发展，水资源数据来源更加广泛。主要来源分为一下几个方面。

##### 1.1 遥感数据

包括光学遥感(Landsat、Sentinel-2等)、微波遥感(SAR数据)、高光谱遥感、重力卫星(GRACE)数据。MODIS(中分辨率成像光谱仪)提供全球水体分布、地表温度、蒸散发等数据(NASA)。

##### 1.2 地面监测数据

包括水文站点监测数据、气象观测数据和地下水位监测数

据，流量与水位：全球径流数据中心(GRDC)、各国水文机构(如中国水利部水文局)。水质数据如EPA(美国环保署)、UNEP GEMS/Water全球水质数据库，气象站数据、降水/蒸发如世界气象组织(WMO)、GHCN(全球历史气候网络)，积雪与冰川如各国冰川监测网络(如中国冰川编目)，地下水监测井如USGS(美国地质调查局)、IGRAC(全球地下水信息中心)。

##### 1.3 模型模拟

水文模型是研究水文过程、预测水资源变化及管理的重要工具。其构建方法需结合水文循环的物理机制、数据可用性及应用目标。模拟水资源来源的模型是研究水循环、水资源分布及可持续利用的重要工具。以下是关于模型模拟水资源来源的详细解析，涵盖关键概念、模型类型、技术方法及应用示例。水资源数据融合技术通过整合多源异构数据(如遥感、地面监测、模型输出等)，提升水资源监测、评估和管理的精度与效率。以下是其核心方法、技术流程及典型应用。

##### 1.3.1 水资源来源的关键组成部分

水资源的来源通常包括：降水如雨水、雪、冰雹等大气降水、地表水如河流、湖泊、水库、湿地等、地下水如含水层中的可开采水资源，冰川与积雪融水如高山冰川、极地冰盖的季节性融水，土壤水如植被根系可吸收的土壤水分，再生水如污

水处理后的再利用水源。

### 1.3.2. 常用模型类型

根据模拟目标和空间尺度,水文模型目前成熟的模型有以下几类。

(1) SWAT (Soil and Water Assessment Tool), 主要用于流域尺度的地表水、地下水、农业用水模拟,结合土地利用和气候变化分析;HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) 主要模拟降雨-径流过程,适用于洪水预测和水资源规划;VIC (Variable Infiltration Capacity) 为分布式水文模型,模拟大尺度水循环,包括蒸散发、土壤水和径流。

(2) 地下水模型有 MODFLOW, 为三维地下水流动模型,该模型模拟含水层补给、抽水影响及污染迁移;FEFLOW 模型,主要用有限元法模拟地下水与地表水交互作用,适用于复杂地质条件。

(3) 综合水资源管理模型有 WEAP (Water Evaluation and Planning System) 集成供需分析,支持气候变化和政策情景模拟;MIKE SHE 模型耦合地表水、地下水、生态系统的综合模型。

气候-水文耦合模型有 CMIP (Coupled Model Intercomparison Project), 结合全球气候模型 (GCMs) 与区域水文模型,预测未来水资源变化。

## 2. 模型构建的关键技术方法

构建水资源分析模型是一个系统化、多步骤的过程,需要结合水文科学、数据科学和实际管理需求。模型的构建主要分为数据清洗、质量控制、时空尺度统一化数据标准化与归一化三个方面。以下是系统化的清洗流程及关键技术。

### 2.1 需求分析

明确模型用途(如洪水预报、水资源管理、气候变化影响评估等);时空尺度:确定时间分辨率(小时、日、月)和空间尺度(流域、区域、全球);输出需求:如径流量、蒸散发量、土壤含水量等。

### 2.2 数据清洗

水资源数据通常包含、水文监测数据(如降雨、径流、水质)、遥感数据(如NDWI、土壤湿度)、社会经济数据、气象数据(降水、温度、风速等)、地形数据(DEM、坡度、流域边界)、土壤类型、土地利用、植被覆盖等、地理数据(DEM、水系分布、社会经济数据(用水需求、灌溉面积等))等,清洗过程需针对不同数据类型和问题采取相应策略。

数据清洗与质量控制时空尺度统一化数据标准化与归一化,主要为数据预处理,包括缺失值插补、异常值处理、标准化/归一化、时空匹配。将不同分辨率/时相的数据统一到相同网格(如降尺度或重采样)。

识别方法分为统计检验箱线图(IQR法)、Grubbs 检验(正态分布异常值)可视化检查,时间序列图、空间插值图(如Kriging);规则验证设定合理范围(如pH值6~9,超出即标记)。

数据输入前需要对数据进行处理,包括异常值处理、数据一致性处理、重复数据与噪声过滤、清洗后验证四步。

#### 2.2.1 异常值处理

数据异常值处理包括修正、剔除、标记保留等步骤。

(1) 修正:根据物理规律调整(如负流量 $\rightarrow$ 0,突增 $\rightarrow$ 邻近站数据校正)。

(2) 剔除:使用 $3\sigma$ 原则(正态分布)或MAD(中位数绝对偏差)(非正态数据)。

(3) 标记保留:在不确定性分析中单独处理(如蒙特卡洛模拟时加入误差范围)。

#### 2.2.2 数据一致性处理

数据一致性处理包括单位统一、时间对齐、空间匹配等步骤。

(1) 单位统一:转换流量单位(如 $\text{m}^3/\text{s} \rightarrow \text{L}/\text{s}$ )、坐标系(WGS84 vs. CGCS2000)。

(2) 时间对齐:重采样至统一时间步长(如日数据 $\rightarrow$ 月均值)。

(3) 空间匹配:降尺度/升尺度遥感数据至研究区域网格(如 $1\text{km} \rightarrow 100\text{m}$ )。

#### 2.2.3 重复数据与噪声过滤

重复数据与噪声过滤包括去重、移动平均、移动平均等步骤。

(1) 去重:基于唯一标识(如站点ID+时间戳)删除重复记录。

(2) 移动平均:适用于缓慢变化参数(如地下水水位)。

(3) 移动平均:分离高频噪声(如传感器抖动)与真实信号。

#### 2.2.4 清洗后验证

数据清洗后要进行验证,以保证数据吻合。通过统计检验、可视化对比、模型敏感性测试进行验证。

(1) 统计检验:对比清洗前后数据的分布(如Kolmogorov-Smirnov 检验)。

(2) 可视化对比:绘制原始与清洗后数据的时间序列/空间分布图。

(3) 模型敏感性测试:输入清洗前后数据到模型中,观察输出差异(如径流预测误差变化)。

### 2.3 过程模拟

(1) 地表径流:基于SCS曲线数法、Green-Ampt入渗方程等。

(2) 地下水补给:达西定律、质量守恒方程。

(3) 蒸散发:Penman-Monteith公式、遥感反演(如MODIS ET)。

(4) 参数率定与验证:使用历史观测数据(如流量、地下水水位)优化模型参数。

(5) 统计指标:Nash-Sutcliffe效率系数(NSE)、均方根误差(RMSE)。

(6) 不确定性分析:蒙特卡洛模拟、GLUE方法评估参数和输入数据的不确定性。

(7) 参数优化:数据自动率定,使用SCE-UA、PSO等算法优化模型参数。

(8) 敏感性分析:通过Morris或Sobol指数识别关键参数(如土壤渗透系数)。

(9) 验证方法:分为分时段验证和交叉验证。用70%数据

训练, 30%测试; 交叉验证, K-fold 法减少过拟合。

(10) 指标评估: NSE (纳什效率系数)、RMSE、 $R^2$  等。

#### 2.4 情景模拟与结果分析

(1) 情景设计包括气候情景和人类活动。其中, 气候情景为 CMIP6 未来气候模式输入 (如 RCP4.5); 人类活动为城市化率增长、节水政策实施等。

(2) 输出可视化: 空间分布图 (如 ArcGIS 绘制缺水风险分区); 时间序列图 (如未来 50 年径流变化趋势)。

水资源数据清洗是模型构建的基础, 需结合领域知识 (如水文规律) 与技术方法 (统计、机器学习)。清洗后应保留数据真实性, 避免过度修正导致信息损失。对于复杂问题 (如跨区域数据融合), 可考虑分阶段清洗 (先单站后区域)。

### 3. 应用案例

该技术广泛应用于水资源量评估、水质监测、干旱监测、水资源管理决策

等诸多场景。融合 GRACE 重力卫星数据与水文模型, 提高区域水资源量估算精度。结合高光谱遥感与地面监测数据, 实现大范围水质参数反演。整合多源遥感指数、气象数据和土壤墒情数据, 构建综合干旱监测模型。基于多源数据的数字孪生平台, 支持水资源优化配置。水文模拟是研究水文过程、预测水资源变化及评估水灾风险的重要工具。以下列举几个典型的应用案例, 涵盖不同尺度、目标和技术方法。

#### 3.1 流域洪水预报与防洪调度 (长江中下游洪水模拟)

(1) 模型: HEC-HMS、MIKE SHE、SWAT。

(2) 应用: 通过模拟降雨-径流过程, 预测三峡水库入库流量, 优化水库调度方案, 减少下游洪灾风险。

(3) 技术亮点: 耦合气象预报数据与分布式水文模型, 实现 72 小时洪水预警。

#### 3.2 城市内涝风险评估 (北京“7·21”特大暴雨内涝模拟)

(1) 模型: InfoWorks ICM、SWMM (Storm Water Management Model)。

(2) 应用: 模拟极端降雨情景下城市排水管网容量不足导致的积水点, 指导海绵城市建设 (如雨水花园、透水路面)。

(3) 技术亮点: 高分辨率 DEM 数据与管网系统耦合, 动态模拟地表积水和地下管网超载。

这些案例展示了水文模拟在防灾减灾、资源管理和生态保护中的关键作用, 实际应用中需根据区域特点和数据条件选择模型。

#### 3.3 生态水文保护 (鄱阳湖湿地水文恢复)

(1) 模型: EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code)

(2) 应用: 模拟三峡大坝运行对湖泊水位波动的影响, 提出生态补水方案以保护候鸟栖息地。

(3) 技术亮点: 水动力模型与生态需水阈值结合。

这些案例展示了水文模拟在防灾减灾、资源管理和生态保护中的关键作用, 实际应用中需根据区域特点和数据条件选择模型。如果需要某个案例的详细流程或参数设置, 可进一步探讨!

### 4. 水资源数据多源分析与管理核心价值

#### 4.1 提升决策的科学性与精准性

(1) 融合卫星遥感、地面监测、气象预报、物联网传感器和社会经济数据, 消除信息孤岛, 构建全面、动态的水资源数据库。

(2) 精准建模与预测: 通过大数据分析和机器学习, 模拟水文循环、预测干旱/洪水风险, 优化水资源分配 (如农业灌溉、城市供水), 减少决策偏差。

#### 4.2 应对复杂的水资源挑战

(1) 气候变化适应: 分析历史与实时数据, 评估气候变化对水资源的影响 (如冰川消退、降水模式变化), 制定适应性策略。

(2) 污染控制: 通过多源监测 (水质传感器、排污记录) 追踪污染源, 快速响应突发水污染事件, 保护生态安全。

#### 4.3 优化资源配置与效率

(1) 供需平衡: 结合人口增长、产业用水等数据, 动态调整区域用水配额, 避免过度开采 (如地下水超采)。

(2) 智慧水利: 在农业中通过土壤湿度数据优化灌溉; 在城市中利用智能水网减少漏损, 提升用水效率。

#### 4.4 促进跨部门协作与公众参与

(1) 协同治理: 打破部门壁垒 (如水利、环保、农业), 实现数据共享与联合管理 (例如流域综合管理)。

(2) 透明化与公众信任: 开放水资源数据平台, 鼓励公众监督用水行为 (如家庭节水 App), 增强社会节水意识。

#### 4.5 支持可持续发展目标 (SDGs)

(1) 直接关联联合国 SDG 6 (清洁饮水和卫生设施), 通过数据驱动管理保障资源公平分配, 减少地区间不平等。

(2) 推动循环经济, 例如再生水利用数据的分析促进废水回收。

#### 4.6 技术创新与风险管理

(1) 早期预警系统: 整合气象、水文数据, 提前预警洪涝或干旱, 降低灾害损失。

(2) 区块链技术: 用于水权交易和数据真实性验证, 防止篡改或争议。

### 5. 结论与认识

(1) 水资源多源数据管理是解决全球水危机的关键技术支撑, 通过数据驱动的精细化治理, 可实现水资源的长期可持续利用, 平衡生态、经济与社会需求。

(2) 水资源数据多源分析与管理的意义在于通过整合、分析和优化多源数据, 提升水资源管理的科学性、效率和可持续性, 以应对全球水资源短缺、污染和气候变化的挑战。

#### [参考文献]

[1]徐德祥, 管潇, 徐帅斌. 大数据分析在水资源管理中的应用研究[J]. 信息系统工程. 2025, (1).

[2]张爱萍. 凤县水资源管理与开发利用调查报告[J]. 陕西水利. 2022, (1).