

遥感与地面观测结合的淮河流域水资源动态监测技术

魏美斯

(河南省信阳市水文水资源勘测分中心, 河南 信阳 464000)

摘要 遥感与地面观测结合的水资源动态监测技术, 通过多源数据融合与模型耦合, 可以构建全方位监测网络。本文详细论述了该技术原理, 包括遥感利用传感器捕捉信息、地面监测站点精准测流采样等, 以及二者的结合方式, 进而构建淮河流域水资源动态监测技术体系, 确定监测指标。介绍了数据获取预处理流程, 通过集成技术方法构建模型, 并以怀洪新河子流域为例, 展示技术应用过程与效果, 证明其在提升监测精度、时效性及助力水资源管理决策方面优势显著。

关键词 淮河流域; 水资源动态监测; 遥感; 地面观测; 多源数据融合

中图分类号: TP7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.24.012

0 引言

淮河流域水资源时空分布不均, 供需矛盾突出, 水污染严重, 地下水超采等问题日益凸显。现有水资源监测体系虽日臻完善, 但部分区域站点密度不足, 设备更新滞后, 遥感数据精度和分辨率也有待提升。遥感与地面观测结合的水资源动态监测技术应运而生, 该技术融合遥感宏观趋势与地面数据精准校正的优势, 通过多源数据融合与模型耦合, 构建涵盖水量、水质及水资源利用的全方位监测网络, 为淮河流域水资源管理提供科学依据, 推动水资源管理迈向精准化与智能化。

1 淮河流域水资源特征与监测现状

1.1 淮河流域水资源特征

淮河流域地跨鄂、豫、皖、苏、鲁五省, 总面积约 33 万平方公里。地处南北气候交汇带, 降水丰沛但时空分布不均, 汛期降水占全年 50% ~ 70%。地形西高东低, 山地、丘陵、平原、洼地错落, 河流众多, 水系发达。在水资源时间分配上, 汛期径流量大, 枯水期水量少; 在空间上, 安徽省因地处中游且支流密集, 水资源相对充沛, 而湖北省因流域面积占比小, 水资源量最少。上游山区降水径流丰富, 中下游平原需水量大但本地水资源有限。淮河流域作为重要的农业产区和能源基地, 其水资源开发利用程度高, 兴建了大量水利工程。然而, 水资源供需矛盾突出, 水污染严重, 部分地区地下水超采, 水资源管理与调配难度大等问题也日益凸显^[1]。

1.2 淮河流域水资源监测现状

淮河流域水资源监测体系日益完善, 地面观测网络覆盖干支流, 自动化雨水情监测站实时报送信息, 数字孪生淮河建设稳步推进。监测指标涵盖水量、水质、水位等, 传感器、物联网、大数据分析等技术广泛应用, 遥感技术亦助力获取地表水体、植被、土壤湿度等信息, 为洪水预警、水资源调度等提供参考。然而, 部分偏远地区站点密度不足, 老旧设备更新滞后。尽管遥感数据精度和分辨率有待提升, 数据处理需专业支持, 但结合地面监测数据验证和加强技术人员培训, 正不断提高监测准确性。盱眙段已建成首个地表水—地下水一体化监测示范站, 探索一体化监测新技术。

2 遥感与地面观测结合的淮河流域水资源动态监测技术原理

2.1 遥感与地面观测原理

遥感借助气象卫星的可见光、红外和微波传感器, 以及陆地卫星的多光谱和高光谱传感器, 捕捉地物信息。利用水体在可见光波段反射率低、近红外波段反射率高的光谱特征, 结合时间序列影像, 通过水体指数法和机器学习分类法, 精准提取并监测水体面积变化。依据光传播原理和实测数据, 反演叶绿素 a 浓度、悬浮物浓度等水质参数。地面观测则依托水文监测站点, 采用流速仪法和水位流量关系法测流, 机械式和电磁流速仪各展所长。水位流量关系法实现水位实时监测与流量推算。水质监测通过采样与实验室分析, 瞬时采样与累积采样相结合, 光谱分析法和离子色谱

法精准剖析水中污染物和离子成分。雨量计与蒸发皿则分别量化降水与蒸发，为水资源补给与消耗提供关键数据^[2]。

2.2 二者结合的技术原理

遥感与地面观测的结合，在水资源监测中展现出独特优势。遥感技术提供宏观趋势，地面数据精准校正，二者互补。其结合方式多样，或以遥感划定重点区域，地面跟进详查；或用地面数据校正遥感精度；或将遥感数据驱动模型，地面数据率定参数。时空尺度匹配与融合是关键，时间上插值遥感数据，空间上重采样匹配分辨率，线性和非线性方法促进数据融合。模型耦合则需理解二者相互作用，遥感反演参数，地面数据校准模型，还可构建耦合模型模拟水资源动态。构建模拟模型时，依目标选型，整合数据，率定参数，独立数据验证。在参数率定与优化方面，传统试错与现代智能算法结合，如遗传算法模拟进化，高效寻优，提升模拟精度与可靠性。

3 淮河流域遥感与地面观测结合的水资源动态监测技术体系构建

3.1 监测指标体系确定

1. 水量指标。水量指标主要包括水体面积、径流量和地下水水位等。水体面积通过遥感影像解译获取，利用 GIS 技术计算水域边界，结合地面观测数据校准，确保精度。径流量采用水文站监测数据与遥感反演数据相结合的方法，通过公式计算得出：

$$Q = \int (P - ET - S) dt \quad (1)$$

式(1)中， Q 为径流量， P 为降水量， ET 为蒸散发量， S 为土壤水分变化量， dt 为时间间隔。地下水水位则通过监测井实时数据与遥感监测的地下水位变化趋势进行综合分析，采用克里金插值法进行空间插值，获取区域地下水水位分布^[3]。

2. 水质指标。水质指标涵盖水温、色度以及关键污染物浓度，如化学需氧量(COD)、氨氮(NH_3N)和总磷(TP)。水温通过热红外遥感数据反演并结合地面温度计校准。色度则采用高光谱遥感技术，通过特定波段反射率计算得出。污染物浓度综合运用遥感反演与地面采样分析，结合水质模型进行估算。以 COD 为例，其浓度估算公式为：

$$\text{COD} = k \cdot (R_{\lambda 1} - R_{\lambda 2}) \cdot e^{-\alpha \cdot L} \quad (2)$$

式(2)中， $R_{\lambda 1}$ 和 $R_{\lambda 2}$ 分别为特定波长的反射率， k 为校正系数， α 为衰减系数， L 为水体深度。此方法有效整合遥感与地面观测数据，提升水质监测精度。

3. 水资源利用指标。水资源利用指标包括灌溉用

水量、工业用水量和生活用水量。灌溉用水量通过遥感监测作物类型、面积及生长阶段，结合当地灌溉定额估算。工业用水量则依据企业规模、类型及单位产值用水量，运用统计模型推算。生活用水量考虑人口数量、生活水平及用水习惯，采用人均用水量指标进行估算^[4]。以灌溉用水量为例，其计算公式为：

$$IW = \sum (A_i \cdot ETc_i) \quad (3)$$

式(3)中， IW 为总灌溉用水量， A_i 为第(i)类作物的灌溉面积， ETc_i 为其作物需水量，由参考作物蒸发蒸腾量 ET_0 乘以作物系数 Kc_i 计算得出。该方法综合遥感数据与地面统计信息，实现水资源利用的精细化监测。

3.2 数据获取与预处理流程

1. 遥感数据获取。数据融合与质量评估是遥感数据获取的关键环节。首先，对多源遥感数据进行融合处理，以提高数据分辨率和信息量。融合方法包括基于加权平均的算法：

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot R_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4)$$

式(4)中， R 为融合后的反射率， R_i 为第 i 类遥感数据的反射率， w_i 为对应的权重。然后，进行数据质量评估，计算归一化差异水体指数(NDWI)以辅助水体提取。最后，结合归一化差异植被指数(NDVI)进行水体与植被的区分，并通过主成分分析(PCA)进一步优化数据质量，确保遥感数据的准确性和可靠性。

2. 地面观测数据收集。地面观测数据收集涵盖水位、流量、水质及用水量等关键信息的系统性获取。水位数据依托高精度水位计进行分钟级采样经，线性拟合修正短期波动：

$$H_{adj} = H_{raw} \cdot (1 + k \cdot \sin(\omega t + \phi)) \quad (5)$$

式(5)中， H_{adj} 为修正后水位， H_{raw} 为原始数据， k 、 ω 、 ϕ 分别为振幅系数、频率角和初相位。流量监测采用流速仪结合水力学公式：

$$Q = v \cdot A \quad (6)$$

式(6)中， Q 为流量， v 为流速， A 为过水断面面积。水质采样遵循分层随机布点法，运用便携式分析仪现场测定并结合实验室比对。用水量统计整合计量器具记录与抽样调查数据，通过时空加权模型构建区域用水强度分布，确保数据链完整性和空间连续性。

3.3 技术方法集成与模型构建

采用光谱与纹理特征的多层次水体信息提取算法，结合深度学习模型，实现了水体精细分类。通过耦合分布式水文模型与遥感数据驱动模型，并引入机器学习误差校正机制，成功模拟了降水—径流—地表水—地下水的全路径动态过程，解决了复杂流域尺度下的

参数化难题。此外,基于多源数据融合的水质综合评估模型,通过遥感反演与地面监测数据的协同校准,并结合时空加权的水质综合指数模型,实现了流域水质的精细化、动态化评估,为水环境管理和污染防控提供了科学依据^[5]。

4 淮河流域水资源动态监测技术应用案例

4.1 案例区域选择与背景介绍

本次应用案例选取淮河流域的怀洪新河子流域。怀洪新河子流域位于淮河中游,地跨安徽、江苏两省,是淮河流域的重要组成部分。流域内水资源丰富,但面临着水资源供需矛盾、水污染等问题。流域内农业灌溉用水量大,工业发展迅速,导致水资源利用效率低下,水体污染严重,亟需高效的水资源监测技术提供科学依据。

4.2 技术应用过程

遥感影像解译获取水体面积,GIS技术计算水域边界,结合地面观测校准。综合分析水文站流量监测数据、地下水监测井数据,获取水量、水质指标。多时相遥感影像提取不同时期水体范围,对比展示变化。怀洪新河子流域布设监测站点,采集水量、水质数据。模型运行模拟水资源动态,分析变化趋势、时空分布、水质演变,为管理决策提供依据。深度学习模型、分布式水文模型等模拟全路径动态过程,多源数据融合评估流域水质。图1展示了怀洪新河子流域水体面积随时间动态变化,反映水资源波动。

4.3 应用效果评估

新技术融合遥感与地面观测数据,在水资源监测中优势显著。相比传统方法,它能更精准地提取水体

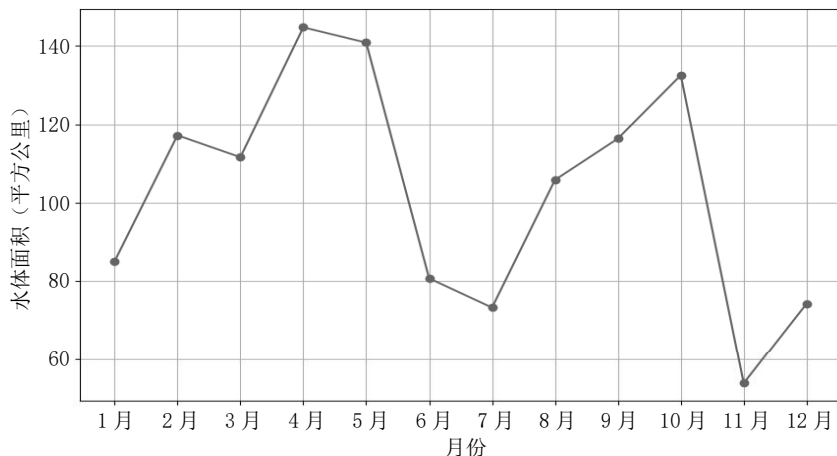


图1 水体面积变化曲线图

信息、反演水质参数及估算水资源利用量,时效性也大幅提升,实现水资源动态实时监测,空间覆盖更广,涵盖偏远及复杂地形区域。在水资源管理决策方面,该技术能准确监测水资源时空分布与动态,为调配、污染防控及生态保护提供科学依据,助力制定灌溉计划、优化用水配置、及时防控污染、调整湿地保护策略等,全方位支撑水资源管理。

5 结束语

淮河流域水资源动态监测技术的融合应用,标志着水资源管理迈向精准化与智能化。遥感与地面观测的协同,不仅突破了传统监测的时空局限,更在数据精度与时效性上实现质的飞跃。该技术体系通过多源数据融合与模型耦合,成功构建了涵盖水量、水质及水资源利用的全方位监测网络,为流域水资源管理提供了坚实的数据支撑。未来,随着技术的不断进步与

优化,该体系将在水资源调配、污染防治及生态保护等领域发挥更大作用,为淮河流域乃至全国的可持续发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 曹炎煦,杨先发,樊孔明,等.基于遥感技术评估淮河流域母亲河复苏行动成效的方法研究[J].治淮,2024(12):68-70,88.
- [2] 赵朝贺,周娟,赵立科,等.水资源遥感动态监测探索与应用[J].陕西水利,2023(04):19-20,24.
- [3] 薛源,覃超,徐梦珍,等.基于多源遥感数据的河流断面提取进展与展望[J].遥感学报,2024,28(11):2719-2738.
- [4] 张蕊.基于高光谱图像的多源遥感数据融合方法及应用研究[D].南京:南京理工大学,2023.
- [5] 魏涛,奔驰.基于遥感技术的河流水质动态监测方法研究[J].工程技术研究,2025,07(03):245-247.