

# 基于遥感技术的农田土壤墒情监测模型构建

黄余倩, 吴洪钊, 王作涛

恩施州水文水资源勘测局, 湖北 恩施 445000

DOI: 10.61369/MAT.2026010003

**摘要** : 本研究聚焦遥感技术支持下农田土壤墒情监测模型的构建工作, 传统土壤墒情监测存在耗费时间精力、空间代表性不足的局限, 遥感技术拥有的宏观覆盖能力与时效响应优势可形成有效补充。筛选适配的遥感数据源及特征参数, 构建整合多光谱信息与地表参数的监测模型, 数据预处理、特征提取与模型训练优化环节有序衔接推进, 实现农田土壤墒情的快速反演。实例验证结果表明, 模型能够有效捕捉土壤墒情的空间分布状况与动态变化趋势, 为区域水资源时空分布解析、灌溉用水精准调控、抗旱减灾水资源调度提供核心技术支持, 对水资源管理水平的提升具有重要意义。

**关键词** : 遥感技术; 农田土壤墒情; 监测模型; 水资源管理; 多光谱信息

## Construction of Farmland Soil Moisture Monitoring Model Based on Remote Sensing Technology

Huang Yuqian, Wu Hongchai, Wang Zuotao

Enshi Prefecture Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Enshi, Hubei 445000

**Abstract** : This study focuses on the construction of a farmland soil moisture monitoring model supported by remote sensing technology. Traditional soil moisture monitoring has the limitations of consuming time and energy and insufficient spatial representativeness. The macroscopic coverage ability and timeliness response advantages of remote sensing technology can effectively complement this. Screen suitable remote sensing data sources and characteristic parameters, construct a monitoring model integrating multispectral information and surface parameters, and orderly connect and advance the data preprocessing, feature extraction and model training optimization links to achieve rapid inversion of farmland soil moisture conditions. The verification results of the instance show that the model can effectively capture the spatial distribution and dynamic change trend of soil moisture, providing core technical support for the analysis of the spatio-temporal distribution of regional water resources, precise regulation of irrigation water use, and water resource scheduling for drought resistance and disaster reduction. It is of great significance for the improvement of water resource management level.

**Keywords** : remote sensing technology; soil moisture in farmland; monitoring model; water resources management; multispectral information

## 引言

农田土壤墒情是农情监测的重要指标, 对作物生长起到至关重要的作用, 及时准确掌握土壤墒情空间分布情况, 在实现因地制宜、适时适量灌溉, 提高农业用水效率等方面具有重要意义。传统土壤墒情监测依赖田间采样与定点观测实施, 操作流程复杂、投入成本较高, 大面积动态追踪面临阻碍, 难以支撑大范围水资源动态调配决策。遥感技术具备捕捉地表反射光谱信息的能力, 可快速获取大范围土壤水分关联参数, 为农田土壤墒情监测开拓全新技术路径。搭建基于遥感技术的监测模型, 突破传统监测的固有局限、提升水文水资源管理效能具有重要实践价值。

## 一、遥感技术监测农田土壤墒情的原理与数据源

### (一) 监测原理

可见光与近红外波段范围内, 土壤水分上升带来反射率的下降, 这既与水分对光线吸收作用的强化有关, 土壤颗粒表面形成

的水膜也会改变光的散射轨迹。热红外波段中, 湿润土壤热容量相对更高, 温度变动较干燥土壤更为迟缓, 借助地表温度反演能够间接反映墒情状态, 水分越充沛的区域温度梯度表现得越平缓<sup>[1]</sup>。微波遥感依托电磁波与土壤的相互作用, 利用水分增多引发的后向散射系数变动实现墒情的定量反演, 在植被覆盖区域的

监测中表现尤为突出。土壤墒情作为地表水-土壤水-地下水循环的关键纽带,遥感获取的墒情数据为区域水循环解析、水资源径流模拟提供基础支撑,其具备的全天候监测能力能够实时捕捉降水后的水分动态过程。

## (二) 遥感数据源选择

卫星遥感覆盖区域广泛且重访周期稳定,适宜开展大范围农田墒情监测,多光谱卫星提供从可见光到近红外波段的反射信息,热红外卫星获取地表温度数据,微波卫星拥有全天候监测能力且不受云层干扰,为复杂气候区水资源动态监测提供保障。航空遥感空间分辨率较高,适合小区域精细监测工作,投入成本偏高且覆盖区域有限;地面遥感设备如便携式光谱仪,近距离采集高精度光谱数据,常被用于模型的校准与验证环节。实际应用过程中依据监测区域水资源管理需求、精度标准以及成本规划,挑选单一类型或组合形式的数据源,优先保障对水资源动态敏感区域的监测数据质量。

## 二、农田土壤墒情监测模型构建流程

### (一) 数据获取与预处理

研究区遥感数据取自卫星与航空观测,包含原始影像及辐射定标参数,山区场景下需补充数字高程模型,校正地形带来的干扰;地面数据通过土壤采样与传感器监测获取,采样点按网格法布设,覆盖不同海拔、坡向及土壤类型,测定0-20cm和20-40cm土层含水量,同步记录入渗率、田间持水量等水文参数,确保采样均匀且贯穿作物全生长周期。预处理环节,遥感影像进行辐射定标消除传感器差异、大气校正去除气溶胶与水汽干扰、几何校正实现精准定位;地面数据经过异常值检测与标准化处理,用邻近均值法填补缺失值,剔除逻辑不符数据并统一格式单位,为模型运转提供高质量数据基础。

### (二) 特征参数提取

光谱特征参数包含蓝、绿、红、近红外波段反射率,经波段运算生成归一化植被指数、归一化差异水分指数、比值植被指数。热特征参数以地表温度为核心,采用单窗或劈窗算法从热红外波段反演,结合 emissivity 校正消除地表覆盖影响,用于剖析土壤水分与热量平衡关系<sup>[2]</sup>。地形与水文特征参数涵盖坡度、坡向、地形湿度指数,通过数字高程模型提取地表径流路径、汇水区范围等,关联土壤墒情与产汇流潜力,解析水资源空间分布规律。提取的多维特征参数与对应采样点实测墒情数据建立关联,形成结构化模型输入数据集。

### (三) 模型选择与训练

经验统计模型基于特征参数与墒情的线性或非线性回归搭建,像多元线性回归、逐步回归这类方法,虽简洁易阐释却难以捕捉复杂交互效应;物理模型借助辐射传输方程模拟电磁波传播,需精准设定土壤与植被参数,调试过程较为繁琐。反向传播神经网络、随机森林、支持向量机等机器学习模型能自动习得高阶非线性关联,在复杂下垫面监测中优势显著。本研究选用随机森林模型,以多维特征为输入、实测墒情为输出,按7:3比例划分

训练与验证集,用袋外估计法衡量性能,通过网格搜索调整决策树数量、节点分裂标准等参数,降低误差以精准刻画特征与墒情关联,为水资源管理提供支撑。

### (四) 模型验证与优化

模型验证采用验证集数据评估,通过均方根误差、平均绝对误差、决定系数等指标考察预测值与实测值吻合程度。精度未达预期时,经残差分析定位误差集中区域与特征范围,比如坡耕地高坡度区误差大,可补充样本;通过敏感性分析调整参数组合,剔除作用较弱波段。用递归特征消除算法剔除冗余参数,保留关键特征简化模型;采用5折交叉验证调整超参数,避免过拟合增强泛化能力。优化后模型需经独立年份或相邻区域样本检验,验证时空迁移稳定性,确保稳定准确监测墒情动态以支撑水资源管理工作。

## 三、模型应用与实例分析

### (一) 研究区域概况

研究区地处恩施州武陵山区,地形构成以山地、丘陵为主,其间散落着山间盆地。土壤类型中黄壤占据主导,这类土壤黏粒含量高,保水性能较好但透水能力偏弱,区域内种植有玉米、马铃薯、茶叶等作物,灌溉方式采用自流灌溉与小型提水灌溉相结合的形式,受地形条件影响不同区域灌溉状况存在差异。季风气候作用下,夏季暴雨频发容易引发水土流失,冬季降水偏少则较易出现干旱现象。区域内部设置多个监测站点,长期记录不同海拔、坡向的土壤含水量及入渗率等数据,能够反映复杂地形条件下墒情的空间变异特点与水资源分布规律,为模型的应用与验证创造了适宜条件。

### (二) 模型监测结果

监测结果显示农田墒情在垂直与水平方向上的空间差异较为明显。山间盆地地势平缓,灌溉条件便利加之黄壤保水性能突出,墒情整体处于较高水平,水资源储存能力较强;山地坡耕地由于坡度较大,降水容易流失,再加上黄壤透水性较差,导致墒情偏低且变异特征明显,水资源流失风险相对较高<sup>[9]</sup>。时间动态变化方面,春季墒情逐步回升,水资源供需趋于平衡;夏季坡地墒情波动幅度较大,盆地区域则需要防范内涝问题;秋季墒情随着蒸发过程逐渐下降;冬季墒情降至全年最低,水资源供需矛盾较为突出。

### (三) 精度评估与对比

采用地面实测数据对模型精度进行评估,选取不同区域的监测点计算误差指标,模型预测值与实测值之间的偏差程度较小,决定系数处于较高水平,能够满足相关监测精度标准。与传统监测方法相比,模型实现了大范围同步监测目标,解决了山区采样点数量稀疏、空间代表性不足的问题,清晰呈现出山间盆地与山地坡地的墒情差异;和单一遥感数据源构建的模型相比,本模型整合了多源特征参数,减轻了云雾天气对监测数据的干扰影响,在多雨的环境中表现出更优的稳定性,这也证实了模型构建思路的合理性以及在山区水资源管理场景中应用的实际有效性。

### (四) 应用价值分析

模型监测结果为水资源精准管理提供了重要支撑,依据山地

与盆地的墒情差异制定差异化灌溉用水方案：坡耕地墒情较低区域推广节水灌溉技术并优化灌溉频次，盆地高墒情区域合理控制灌溉量以避免内涝与水资源浪费。为当地抗旱减灾水资源调度提供决策依据，建立“干旱等级-灌溉需水量-水源调配优先级”关联机制，保障茶叶等经济作物主产区的用水需求。为农业用水定额制定提供支持，通过连续墒情数据计算不同作物生育期的耗水量，为区域农业用水指标核定提供量化依据；辅助水利工程效益评估，通过对比灌溉工程实施前后的墒情变化，量化工程对农田水资源利用效率的提升效果。结合土壤墒情与水资源分布特征优化作物种植布局，实现水资源供需平衡。

## 四、模型应用中的问题与优化方向

### （一）现存问题分析

模型在恩施州的应用受限于数据源条件，高空间分辨率遥感数据获取成本偏高且回访周期偏长，难以契合山区小流域水资源精细化监测的实际需求。该区域阴雨天气频发，每年近半数时间受云雾遮蔽影响，光学遥感数据质量因此下降，部分时段甚至出现监测数据的严重缺失，对墒情及水资源动态的连续监测形成干扰<sup>[4]</sup>。区域固有特征对模型泛化能力影响显著，复杂地形与多样土壤类型让特征参数和墒情的关联呈现特殊属性，将模型应用于其他山区时，土壤特性的差异会导致精度明显降低，难以直接支撑跨区域水资源管理工作。地面验证数据存在不足，山区交通条件限制了采样点布设，数据覆盖的海拔跨度与坡向范围有限，土壤入渗率、田间持水量等水文参数获取不够充分，对模型训练与验证效果产生不利影响。

### （二）数据源优化

加强多源遥感数据的融合应用，结合恩施州地形与气候特征整合高分辨率卫星、无人机遥感及地面传感器网络搭建水资源监测体系，无人机遥感灵活快速的优势可在云雾间隙获取山区小地块高分辨率数据，服务于小流域水资源精细校准工作，微波遥感全天候监测的能力能够弥补光学遥感受阴雨天气干扰的不足，保障降水集中中期墒情及水资源动态数据的连续获取。推进区域性遥感数据与水文数据共享平台建设，汇总科研机构、农业部门、水利部门的遥感与水文监测数据资源，降低数据获取成本投入提升数据可获得性，为模型在山区水资源管理中的持续应用提供稳定数据支撑，针对黄壤特性开发专属光谱校正模块。

### （三）模型改进策略

引入迁移学习方法将在恩施州训练的模型知识迁移到相似山区区域，通过提取地形、土壤类型的共性特征降低对新区域地面数据的依赖程度，提升模型在复杂山区水资源管理中的泛化表现。结合深度学习技术优化特征参数提取过程，自动挖掘黄壤在不同水分条件下的深层光谱特征及水文关联特征，减少人工特征选择中的主观因素影响，增强模型对土壤类型差异的适应能力。依据恩施州季风气候特征、作物生长周期及水资源季节变化规律构建动态更新的模型框架，按季节调整模型参数权重，重点优化雨季水土流失与冬季干旱时段的模型响应机制，强化对水资源供需关键节点的监测精度，提高模型长期监测的稳定性能。

### （四）应用体系完善

建立“遥感监测-模型反演-水资源决策支持”一体化应用体系，开发适配山区的墒情与水资源监测信息平台，实现遥感数据与水文数据的自动处理、模型在线运行及结果可视化展示，着重呈现恩施州地形、土壤特征对墒情及水资源分布的实际影响<sup>[5]</sup>。强化模型与当地农业灌溉及水利工程系统的对接融合，将墒情监测结果转化为针对山地坡耕地与山间盆地的具体灌溉用水建议及水利工程调度方案，推动技术成果在山区水资源管理场景中落地应用。组织面向基层水利技术人员的技术培训活动，结合恩施州实际案例讲解模型在水资源管理中的使用方法，提升从业者对模型的认知水平与操作能力，促进模型在山区基层水资源管理与农业生产中的推广应用，助力乡村振兴进程中农业水资源的高效利用。

## 五、结语

依托遥感技术构建的农田土壤墒情监测模型，突破传统监测方法的固有局限，实现大范围动态的土壤墒情与水资源关联监测目标。多源数据融合、机器学习建模及优化工作的支撑，使模型具备较高监测精度与水资源管理应用价值，为精准农业发展和水资源高效管理实践提供有力技术支持。模型应用过程中面临数据源、泛化能力等方面的难题，持续优化数据源选择、改进模型结构与完善应用体系建设，应用前景值得期待。未来研究需深化技术与水文业务的融合程度，推动模型向智能化、实用化方向发展，为区域水资源可持续利用与农业可持续发展筑牢技术保障基石。

## 参考文献

- [1] 李朝阳. 机遥感技术在农田水利监测中的应用与优化策略 [J]. 农村科学实验, 2024, (21): 84-86.
- [2] 崔勇, 王明国, 张战胜, 等. 农田土壤墒情监测预报研究进展 [J]. 中国防汛抗旱, 2024, 34(10): 54-63+101.
- [3] 尹承深. 基于多源遥感的河套灌区农田土壤水盐协同反演 [D]. 内蒙古农业大学, 2024.
- [4] 赵健. 基于无人机遥感的农田土壤水分模拟研究 [D]. 西北农林科技大学, 2024.
- [5] 刘晨晨. 基于无人机遥感的智能墒情预测模型与灌溉决策系统 [D]. 江苏大学, 2022.