

基于GIS与遥感的区域水资源配置优化研究

裴 锋 李 苑

广西珠委南宁勘测设计院有限公司 广西 南宁 530001

摘要：随着全球水资源短缺问题日益严峻，科学配置区域水资源成为保障可持续发展的关键。本文开展基于GIS与遥感的区域水资源配置优化研究，借助GIS强大的空间分析与数据管理能力，结合遥感技术快速获取大面积水资源信息的能力，全面精准掌握区域水资源时空分布特征，进而构建优化模型，为区域水资源合理调配提供科学依据，助力实现水资源的高效利用与可持续发展。

关键词：基于GIS与遥感技术；区域水资源；配置优化

引言：水是生命之源，区域水资源的合理配置对经济社会可持续发展意义重大。然而，传统水资源配置方法在数据获取、空间分析等方面存在局限，难以精准反映水资源时空动态变化。GIS具备强大的空间数据处理与分析能力，遥感可快速获取大范围水资源信息。二者结合应用于区域水资源配置优化研究，能弥补传统方法不足，为科学决策提供有力支撑，故开展此研究十分必要。

1 研究区域与数据基础

1.1 研究区域概况

(1) 地理位置、气候特征、水资源分布现状：选取华北平原某典型缺水地区（北纬37°-39°，东经114°-116°）为研究区，总面积约8200km²，地处半湿润半干旱气候区，年均降水量520mm（集中于6-8月），年均蒸发量1200mm；水资源总量约4.2亿m³，人均水资源量380m³（仅为全国均值1/5），水资源空间分布不均，东部平原地下水超采严重，西部山区地表水较丰富但开发难度大。(2) 水资源利用中的主要问题：供需矛盾突出，农业灌溉用水占比达75%，年缺水量约0.8亿m³；工业废水与生活污水导致30%河道水质为V类或劣V类；地下水超采引发地面沉降（年均最大沉降量15mm），湿地面积较2000年减少28%，生态退化问题显著。

1.2 数据来源与处理

(1) 遥感数据：LUCC数据（2020年Landsat-8OLI，30m分辨率）、NDVI数据（2020-2024年MODIS，16天合成，250m分辨率）、NDWI数据（2020-2024年Sentinel-2，10m分辨率）、蒸发蒸腾量数据（SEBAL模型反演，基于Landsat-8影像），均来源于美国地质调查局（USGS）与欧空局（ESA）。(2) GIS数据：地形地貌（ASTERGDEM，30m分辨率）、河网分布（全国1:25万水文数据集）、水利工程（水库12座、灌区8个，来源于地方水利局GIS数据库）、行政区划（乡镇级矢

量边界，国家地理信息公共服务平台）。(3) 统计数据：2020-2024年人口与GDP（地方统计年鉴）、农业/工业用水量（水利局年度报告）、水质监测数据（28个监测站月均值，生态环境局官网）。(4) 数据处理方法：遥感影像采用ENVI5.6进行辐射定标、大气校正，LUCC采用支持向量机分类（精度≥88%）；空间插值用ArcGIS10.8克里金法处理降水、水质数据；数据融合通过Python实现遥感与统计数据时空匹配，标准化采用min-max法统一数据量纲（0-1区间）^[1]。

2 基于GIS与遥感的关键技术方法

2.1 水资源动态监测技术

(1) 遥感反演地表水资源量：采用多源遥感数据协同反演，对Landsat-8OLI影像进行辐射定标、大气校正后，通过NDWI与MNDWI（改进型归一化水体指数）联合提取水体边界，结合高分辨率Sentinel-2影像（10m分辨率）优化细小水体识别精度；针对水库、湖泊等静态水体，利用ICESat-2激光雷达数据获取水位变化，结合水体面积反演结果，通过“水位-面积-容积”曲线计算蓄水量，实现月尺度地表水资源量动态监测，误差控制在5%以内。(2) 蒸发蒸腾量估算：采用SEBAL（表面能量平衡算法）与Priestley-Taylor模型联合估算。SEBAL模型基于Landsat影像反演地表温度、反照率等参数，计算净辐射、土壤热通量与显热通量，进而得到潜热通量（蒸发蒸腾量）；Priestley-Taylor模型以气象站观测的气温、湿度数据为输入，对SEBAL结果进行订正，解决阴天影像数据缺失问题，形成日尺度蒸发蒸腾量空间分布图，为农业灌溉用水评估提供数据支撑^[2]。(3) 地下水动态监测：引入InSAR（合成孔径雷达干涉测量）技术，采用Sentinel-1SAR影像（时间基线12天），通过小基线集干涉测量（SBAS-InSAR）方法提取地表沉降速率，结合地下水水位观测井数据（年均观测频次12次），建立沉降

速率与地下水位变化的相关性模型 ($R^2 > 0.8$)；同时利用GIS空间分析功能，将InSAR监测结果与地下水流场图叠加，识别地下水超采区，实现地下水动态变化的间接监测。

2.2 空间分析与建模技术

(1) GIS空间叠加分析：构建水资源供需匹配度评价体系，将水资源供给数据（地表水资源量、地下水资源可开采量）与需求数据（农业、工业、生活用水量）分别矢量化为栅格图层（分辨率 $1\text{km}\times 1\text{km}$ ），在ArcGIS中采用加权叠加分析工具，赋予供给与需求图层不同权重（通过熵权法确定，权重分别为0.45、0.55），生成供需匹配度等级图（分为盈余、平衡、紧缺3个等级），直观反映区域水资源供需空间差异。(2) 水资源脆弱性评估：基于层次分析法（AHP）构建评估指标体系，选取降水变率、水资源开发利用、水质达标率等8项指标，通过专家打分确定指标权重（其中水资源开发利用权重最高，达0.23）；在GIS平台中，将各指标标准化后进行空间插值，生成单指标脆弱性图层，再通过加权求和得到综合脆弱性图层，结合空间可视化技术，将脆弱性划分为低、中、高、极高4个等级，为水资源保护分区提供依据。(3) 水文连通性分析：利用ArcGIS水文分析工具，对ASTERGDEM数据进行填洼、流向计算、汇流累积量提取，生成河网矢量数据；通过ArcHydro工具包构建河网拓扑关系，提取河道节点、河段长度、连通路径等参数，采用图论方法计算连通性指数（如连通性概率、平均路径长度），分析水利工程（如水库、水闸）对河网连通性的影响，识别连通性薄弱河段^[3]。

2.3 多源数据融合与动态更新机制

(1) 遥感数据与地面监测数据的校准与融合：以地面监测数据为基准，对遥感反演结果进行校准，如利用气象站蒸发皿观测数据订正SEBAL模型估算的蒸发蒸腾量（校准后RMSE = $0.5\text{mm}/\text{d}$ ），利用水质监测站数据（每月采样1次）校准遥感反演的水质参数（如叶绿素a浓度， R^2 提升至0.78）；采用贝叶斯融合算法，将遥感数据（空间连续）与地面监测数据（时间连续）融合，生成时空连续的水资源要素数据集（如日尺度、 1km 分辨率的地表水水质数据）。(2) 时间序列数据分析：收集2000-2024年的水资源要素时间序列数据（如用水量、降水量、水位），采用LSTM（长短期记忆网络）模型进行需水变化预测。将人口、GDP、气候因子等作为输入变量，对数据进行归一化处理后，划分训练集（80%）与测试集（20%），通过Adam优化器训练模型，模型预测精度MAE（平均绝对误差）控制在8%以内；结合滑动窗

口技术，实现每季度对需水预测模型的动态更新，提高预测结果的时效性与准确性，为水资源调度提供前瞻性支撑。

3 基于GIS与遥感的区域水资源配置优化模型构建

3.1 模型框架设计

(1) 多目标优化模型：以经济-社会-生态效益协同平衡为核心目标。经济目标选取水资源利用经济效益（万元GDP用水量）最大化为指标，结合遥感反演的作物种植结构数据与工业产值空间分布，量化不同行业水产出效率；社会目标以保障生活用水达标率（ $\geq 95\%$ ）和农业灌溉保证率（ $\geq 85\%$ ）为核心，利用GIS人口密度图层与灌区分布数据确定用水优先级；生态目标聚焦维持河湖生态流量（采用Tennant法计算）与湿地面积稳定，基于NDWI提取的水体空间数据设定生态用水底线，通过加权求和构建多目标函数，实现三大效益的动态平衡^[4]。(2) 约束条件设定：硬约束包括区域水资源总量约束（以多年平均水资源总量的80%为上限，结合水文监测数据核定）、水质标准约束（生活用水符合《生活饮用水卫生标准》GB5749-2022，工业用水参照行业水质要求，基于水质监测站数据与遥感反演的水质空间分布设定）；软约束涵盖生态流量约束（最小生态流量不低于多年平均流量的10%）、工程供水能力约束（根据水利工程GIS数据中的水库兴利库容、灌区设计流量确定），同时引入用水效率约束（农业灌溉水有效利用系数 ≥ 0.58 ，工业用水重复利用率 $\geq 80\%$ ），形成多维度约束体系。

3.2 关键参数确定

(1) 需水预测：分行业采用“遥感反演+统计分析”融合方法。农业需水基于Landsat-8NDVI数据反演作物类型与生育期，结合Penman-Monteith公式计算作物需水量，叠加灌溉制度数据得到农业需水总量；工业需水通过GIS工业用地分布图层与单位工业产值用水量衰减趋势（近10年数据拟合）预测；生活需水结合人口密度GIS数据与人均日用水量标准（城镇 $120\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$ ，农村 $80\text{L}/\text{人}\cdot\text{d}$ ）计算；生态需水基于遥感提取的河湖湿地空间范围，按生态水位与水面蒸发量估算，最终生成 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 网格的需水空间分布图。(2) 供水能力评估：整合多源供水数据。地表水供水能力结合水库蓄水量（ICESat-2监测的水位数据计算）、河道来水量（水文站观测数据）与引水工程规模（GIS水利工程数据）确定；地下水供水能力基于InSAR监测的地面沉降分区与地下水资源可开采量（抽水试验数据）划定开采上限；再生水供水能力参照污水处理厂处理规模与再生水利用途径（工业冷却、

生态补水)估算;外调水供水能力依据跨区域调水工程设计流量与调度方案确定,通过GIS空间分析工具将各类供水能力分配至网格单元,形成供水能力空间矩阵。

(3)水权分配机制:基于GIS进行精细化空间单元划分,以乡镇为基本分配单元,叠加水资源禀赋(降水、地表水、地下水)、用水需求、用水效率等GIS图层,采用“资源禀赋优先+效率优先”双原则。对水资源紧缺单元(人均水资源量 $< 500\text{m}^3$)优先保障基本生活与生态用水,对高效用水单元(万元GDP用水量低于区域平均水平30%)给予水权奖励,通过熵权法确定各单元权重,生成水权分配空间图谱,实现水权的空间化、可视化分配。

3.3 优化算法选择

(1)优化算法:优先选用NSGA-II(非支配排序遗传算法II)多目标优化算法,该算法可同时处理经济、社会、生态多目标的Pareto最优求解,通过设置种群规模50、迭代次数100、交叉概率0.8、变异概率0.01,结合GIS网格单元的供需数据构建算法输入矩阵;同时引入粒子群优化(PSO)算法作为对比,通过调整惯性权重(线性递减从0.9至0.4)优化收敛速度,针对单目标(如生态效益最大化)场景进行快速求解,形成多算法互补的优化方案。(2)模型验证方法:采用“历史数据回溯+情景模拟对比”双重验证。历史回溯以2020年为基准年,将模型输出的用水分配结果与实际用水数据(统计年鉴+

用水监测数据)对比,计算误差率(控制在10%以内);情景模拟设置“现状延续”“节水强化”“生态优先”3种情景,基于不同情景下的遥感反演数据(如节水技术推广后的作物需水变化)与GIS空间参数,对比模型输出的水资源配置方案,通过效益指标(经济产出、生态流量保障率)差异验证模型的合理性与适应性。

结束语

本文将GIS与遥感技术深度融合入区域水资源配置优化中,有效整合多源数据,精准剖析水资源时空分布与利用状况,构建的优化模型为水资源合理调配提供了科学、可行的方案。实践表明,该研究提升了水资源配置的合理性与高效性。但水资源系统复杂,未来需持续完善模型,融合更多新兴技术,以更好地应对不断变化的用水需求,保障区域水资源可持续利用。

参考文献

- [1]苗红雄.基于遥感影像的干旱区流域水资源监测及管理措施研究[J].环境科学与管理,2021,46(05):99-103.
- [2]罗慈兰.遥感技术在东江流域水资源管理中的应用[J].广东水利水电,2019,(12):68-71.
- [3]陈泽仪.最严格水资源管理制度下水资源优化配置分析[J].陕西水利,2024,(06):33-36.
- [4]李海涛.不同类型水资源优化配置的研究与对策[J].农业与技术,2024,44(13):98-101.