文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

基于大数据的灌溉用水管理与水资源优化配置

李森崎
塔里木河流域开都孔雀河水利管理服务中心
DOI:10.12238/hwr.v9i8.6533

[摘　要] 随着全球水资源日益紧张,灌溉用水的有效管理成为保障农业可持续发展的关键。本文探讨了基于大数据技术的灌溉用水管理策略,旨在通过精准的数据分析实现水资源的优化配置。通过整合气象、土壤墒情及作物需水等多源数据,结合先进的数据预处理技术,我们构建了全面的灌溉用水管理数据库。该数据库为后续的灌溉决策提供了坚实的数据支撑。研究进一步揭示了大数据在灌溉用水管理中的潜在价值,不仅有助于提升水资源利用效率,还能促进农业生产的智能化与精细化。本文的工作为应对水资源短缺挑战、推动农业现代化提供了有益的参考。
[关键词] 大数据；灌溉用水管理；水资源优化配置
中图分类号：TV211.1　**文献标识码**：A

Irrigation water management and optimal allocation of water resources based on big data

Senqi Li
Tarim River Basin Kaidu Peacock River Water Management Service Center

[Abstract] With the increasing shortage of global water resources, effective management of irrigation water has become crucial for ensuring sustainable agricultural development. This paper explores irrigation water management strategies based on big data technology, aiming to achieve optimal allocation of water resources through precise data analysis. By integrating multiple sources of data such as meteorological data, soil moisture content, and crop water requirements, combined with advanced data preprocessing techniques, we have constructed a comprehensive irrigation water management database. This database provides solid data support for subsequent irrigation decisions. The research further reveals the potential value of big data in irrigation water management, which not only helps to improve water resource utilization efficiency but also promotes the intelligence and precision of agricultural production. The work presented in this paper provides a useful reference for addressing the challenge of water resource shortage and promoting agricultural modernization.
[Key words] big data; irrigation water management; optimal allocation of water resources

引言

在全球气候变化的背景下,水资源短缺问题日益严峻,特别是在农业领域,灌溉用水的有效管理对于保障粮食安全和农业可持续发展具有重要意义。传统灌溉方式往往基于经验判断,缺乏科学依据,导致水资源浪费严重。随着信息技术的飞速发展,大数据技术为灌溉用水管理提供了新的思路和手段。通过收集、整合和分析大量气象、土壤墒情及作物需水等数据,可以更加精准地掌握作物生长状况和水资源需求,为实现灌溉用水的精细化管理提供了可能。因此,本文旨在探讨基于大数据技术的灌溉用水管理策略,以期为解决水资源短缺问题、推动农业现代化进程贡献力量。

1 基于大数据的灌溉用水管理的价值

在农业生产中,灌溉是水资源消耗的主要环节之一。传统的灌溉方式往往依赖于经验和固定的灌溉计划,缺乏对不同环境条件下作物实际需水量的精准把握。而基于大数据的灌溉用水管理,则能够通过对海量数据的收集、处理和分析,实现对灌溉用水的科学化、精细化管理。其价值主要体现在以下几个方面:首先,它能够根据实时的气象数据、土壤墒情数据和作物需水数据,为灌溉决策提供科学依据,避免水资源的浪费;其次,通过对历史数据的挖掘和分析,可以预测未来的灌溉需求,为水资源的优化配置提供前瞻性的指导;最后,大数据技术的应用还可以提高灌溉系统的自动化和智能化水平,降低人力成本,提高农业生产效率。

2 基于大数据的灌溉用水管理策略

2.1灌溉用水管理的数据来源与类型

2.1.1气象数据

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

在全球水资源短缺与农业用水矛盾日益突出的背景下,气候变化加剧了灌溉用水的不确定性,表现为干旱频率增加和降水时空分布不均。中国农业用水占比高达60%以上,但灌溉效率低下,渠系水利用系数不足0.5,传统灌溉管理依赖经验,缺乏精准化、动态化调控手段。大数据技术为解决这一问题提供了新的途径,物联网、遥感、气象站等多源数据为精准灌溉提供了支撑,大数据分析能够优化水资源配置,实现节水增效,例如智慧农业试点区已实现节水20%以上。研究具有重要的理论意义和实践意义,理论上可以完善数据驱动的水资源管理方法体系,实践上能够为农业节水政策制定和智能灌溉系统开发提供科学依据。我国水利部推动智慧水利建设,将大数据应用于流域管理,如长江经济带水资源调度,学者们基于气象大数据开发了干旱预警模型。灌溉用水优化配置研究方面,传统方法如线性规划和动态规划依赖静态数据,而忽略时空变异,存在局限性。

2.1.2土壤墒情数据

传统的土壤墒情监测主要依赖人工取样和实验室分析,这种方法耗时费力且难以实现大范围动态监测。随着物联网技术的发展,基于无线传感器网络的土壤墒情实时监测系统逐渐普及,能够实现分钟级甚至秒级的数据采集。常见的土壤墒情传感器包括时域反射仪TDR、频域反射仪FDR和电容式传感器等,这些传感器通过测量土壤介电常数来反映体积含水率。遥感技术为区域尺度土壤墒情监测提供了新手段,卫星遥感如SMAP和SMOS能够提供公里级分辨率的土壤水分产品,无人机遥感则可获取更高分辨率的田间变异信息。土壤墒情数据具有明显的时空变异性,受土壤质地、地形、植被覆盖和灌溉管理等多因素影响。在数据处理方面,需要解决传感器漂移校正、异常值剔除和空间插值等问题。机器学习方法如随机森林和深度学习被广泛应用于土壤墒情预测,通过融合气象数据、作物生长数据和历史墒情数据建立预测模型。

2.1.3作物需水数据

作物需水数据是精准灌溉管理的核心参数,反映了不同生育阶段作物对水分的实际需求。作物需水量通常通过参考作物蒸散发量ET0结合作物系数Kc来计算,其中ET0基于Penman-Monteith方程等模型估算,考虑气温、湿度、风速和太阳辐射等气象因素。不同作物类型和生长阶段具有显著差异的需水特征,例如水稻在分蘖期和抽穗期需水量较大,而小麦在灌浆期对水分敏感。现代监测技术通过茎流计、涡度相关系统和蒸渗仪等设备直接测量作物实际蒸散发量,为需水估算提供实测依据。遥感技术通过反演植被指数如NDVI和叶面积指数LAI间接估算作物需水状况,热红外遥感则通过冠层温度诊断作物水分胁迫程度。作物生长模型如DSSAT和AquaCrop整合环境因子和作物生理过程,能够动态模拟不同情景下的作物需水规律。

2.2灌溉用水管理的数据预处理方法

2.2.1数据清洗与缺失值处理

数据清洗与缺失值处理是构建可靠灌溉用水大数据分析模型的基础环节。原始采集的多源数据普遍存在噪声干扰、异常值和数据缺失等问题,气象传感器可能因设备故障导致数据中断,土壤墒情监测会受田间作业影响产生异常波动,遥感数据易受云层遮挡出现缺失。数据清洗首先需进行格式标准化处理,统一不同来源数据的时间戳、单位制和编码规则。异常值检测采用统计方法如3σ原则或箱线图分析识别离群点,结合物理阈值法剔除超出合理范围的数据。针对传感器漂移问题,运用滑动平均或卡尔曼滤波算法进行平滑校正。缺失值处理根据数据特征选择适当方法,随机缺失可采用线性插值或样条插值填补,连续缺失段使用时间序列预测方法如ARIMA模型重建数据。空间数据缺失则通过克里金插值或反距离加权法进行空间填补。

2.2.2数据融合与标准化

气象观测数据、土壤墒情监测数据、遥感影像数据和作物生长数据等具有不同的时空尺度、采集频率和数据结构,需要进行有效的融合处理。时空对齐是数据融合的首要步骤,通过时空插值方法将不同分辨率的数据统一到共同的空间网格和时间序列上,其中克里金插值适用于空间尺度转换,线性插值或样条插值用于时间尺度匹配。特征级融合通过提取各类数据的特征向量构建统一特征空间,如从遥感影像中提取植被指数和地表温度特征,与地面传感器数据形成联合特征集。决策级融合则采用加权平均、D-S证据理论或模糊积分等方法整合不同来源的决策结果。数据标准化处理包括归一化处理和去量纲化,常用方法有最小－最大标准化将数据缩放到0～1,Z-score标准化使数据符合标准正态分布,以及小数定标标准化处理不同数量级数据。

3 水资源优化配置模型与方法

3.1优化配置目标与约束条件

3.1.1经济效益最大化

经济效益最大化是灌溉用水优化配置的核心目标之一,需要通过科学的水资源管理实现农业生产效益的提升。基于大数据的精准灌溉系统通过减少水资源浪费降低生产成本,智能调度算法可节省20%～30%的灌溉用水量,直接减少电费和人工支出。作物需水模型与市场价格的耦合分析能够指导种植结构优化,优先保障高经济价值作物的用水需求,如设施蔬菜和特色水果的灌溉优先度高于普通大田作物。动态水价机制通过阶梯计价引导节水行为,农业水权交易市场允许用水指标流转,使水资源向效益更高的经营主体集中。遥感监测与产量预测技术帮助评估不同灌溉方案的经济回报,结合成本收益分析选择最优灌溉策略。机器学习算法分析历史产量、水质、气象等多维数据,建立灌溉投入与产出的响应关系模型,确定边际效益最大的用水阈值。

3.1.2生态用水保障

生态用水保障是维持农业可持续发展的重要基础,需要通过科学配置确保灌溉活动不破坏区域生态平衡。基于生态水文模型计算最小生态需水量,为河流、湿地和地下水系统保留必要的生态基流,防止过度取水导致生态系统退化。多源遥感数据监测植被覆盖变化和地表水体面积,结合地面生态监测站数据评估灌溉活动对生态环境的影响。生态敏感区识别技术通过GIS

空间分析划定需要特殊保护的生态功能区，在这些区域实施严格的取水限制。生态补偿机制将水资源费的一部分用于生态修复，激励节水灌溉技术的推广应用。生态需水预测模型耦合气象预报和植被生长模拟，动态调整灌溉用水配额以兼顾生态需求。生物多样性保护要求在水资源配置中考虑濒危物种的栖息地需求，维持关键时期的生态水位。盐碱化防控措施通过控制灌溉量和排水量，防止土壤次生盐渍化破坏农田生态。生态流量预警系统实时监控河道水量，当低于生态阈值时自动触发灌溉限流措施。

3.2多目标优化算法

3.2.1遗传算法(GA)

遗传算法是一种模拟生物进化过程的智能优化算法，在灌溉水资源配置中展现出强大的全局搜索能力。该算法通过模拟自然选择、交叉和变异等遗传机制，对水资源分配方案进行迭代优化。在初始化阶段随机生成一组可能解作为初始种群，每个个体代表一种灌溉配水方案，编码方式可采用二进制串或实数编码。适应度函数根据目标要求设计，通常包含经济效益、节水率和生态效益等多项指标，通过加权或帕累托前沿方法实现多目标优化。选择操作采用轮盘赌选择或锦标赛选择策略，保留适应度高的优质个体。交叉操作通过单点交叉或多点交叉交换不同个体的基因片段，产生新的解决方案。变异操作以较小概率随机改变某些基因值，增加种群多样性避免早熟收敛。精英保留策略确保每代最优个体不被淘汰，加速算法收敛。针对灌溉问题的特点，算法改进包括动态调整交叉变异概率的自适应机制，结合模拟退火算法增强局部搜索能力及引入约束处理技术确保配水方案满足渠道输水能力等物理限制。

3.2.2粒子群算法(PSO)

粒子群算法是一种模拟鸟群觅食行为的群体智能优化方法，在灌溉水资源优化配置中具有高效并行搜索优势。该算法初始化时在解空间随机生成粒子群，每个粒子代表1个潜在的水资源分配方案，通过位置和速度向量描述其状态。粒子根据个体历史最优解和群体全局最优解动态调整飞行方向，逐步逼近最优配置方案。适应度函数设计综合考虑灌溉效益、节水率和生态影响等多元目标，采用线性加权或分层优化策略处理多目标约束。速度更新公式引入惯性权重平衡全局探索与局部开发能力，认知系数和社会系数分别调节个体经验与群体协作的影响程度。针对灌溉问题的时空特性，算法改进包括动态分区策略将大规模灌区划分为协同优化的子群，混合变异算子增强跳出局部最优的能力，以及约束处理技术确保渠道输水能力等物理限制。多目标粒子群算法通过维护外部存档集保存帕累托最优解，为决策者提供多种配置方案选择。

4 结束语

综上所述，基于大数据的灌溉用水管理不仅实现了对海量数据的采集与处理，还为水资源优化配置提供了科学依据。通过深入分析气象数据、土壤墒情数据和作物需水数据，能够更准确地把握灌溉需求，制定科学的灌溉计划。同时，借助先进的数据预处理技术，有效提升了数据的准确性和可用性，为后续的优化配置工作奠定了坚实基础。在水资源优化配置方面，明确了经济效益最大化和生态用水保障的双重目标，并采用了遗传算法和粒子群算法等多目标优化算法，以期在保障农业生产的同时，兼顾生态环境的可持续发展。这些算法的应用，不仅提高了水资源利用效率，还促进了农业节水灌溉技术的推广与应用。未来，我们将继续深化大数据技术在灌溉用水管理领域的应用，不断探索更加科学、高效的水资源优化配置方法，为农业可持续发展贡献更多智慧与力量。

[参考文献]

[1]崔雪玲.大数据分析与数字农业精准农业的融合及其应用实践[J].数字农业与智能农机,2024,(08):38-40.

[2]张瑞茹.现代化技术在农业智能灌溉系统中的应用[J].南方农机,2024,55(16):141-143.

[3]符太东,韩秋香.基于大数据的智能灌溉决策系统设计研究[J].农机化研究,2024,46(11):86-89+95.

[4]张杰,黄仲冬,梁志杰,等.智慧灌溉大数据管理平台设计与应用[J].农业大数据学报,2024,6(01):82-93.

[5]肖杰.大数据技术在高效节水灌溉中的应用研究[J].大众标准化,2023,(09):159-161.

[6]饶申,鲍玲玲,万云奕,等.基于大数据系统模型的灌溉决策系统研究[J].智慧农业导刊,2023,3(07):11-13.

作者简介：

李森崎(1999--),男,汉族,山东聊城人,大学本科,职称：助理工程师,研究方向：水利水电工程。