漱湖灌区多时间尺度水量调度方法

张锦花[1] 杨钟宇[2] 易磊[3]
1. 南京市溧水区水务局，中国·江苏 南京 211200
2. 南京溧水源泉水务工程有限公司，中国·江苏 南京 211200
3. 南京宇正建设工程有限公司，中国·江苏 南京 211200

摘要：基于灌区的多时间尺度水量调度方法，包括以下步骤构建多时间尺度预测模型，实现分钟级和小时级用水需求预测，完成未来几天到几周的用水需求趋势预测；建立多目标优化和约束模型，动态调整目标权重和重构模型，采用非平衡动态约束修正算法及模糊博弈对多目标优化模型进行协同优化；通过扰动监测和响应机制应对突发情况，调整供水优先级；基于实时数据动态重构约束和优化模型，根据灌区实际情况分层调控供水优先级，并设计抗干扰能力调度执行策略应对异常。解决传统调度方法存在的问题，能够实现多层次的调度决策，针对短期与长期需求进行优化调整，提升灌区供水系统的智能化、灵活性和抗干扰能力。

关键词：灌区；时间尺度；水量调度；方法

Multi-time scale water quantity dispatching method for Qiuhu Irrigation District

Zhang Jinhua[1], Yang Zhongyu[2], Yi Lei[3]
1. Nanjing Lishui District Water Affairs Bureau, China Jiangsu Nanjing 211200
2. Nanjing Lishuiyuan Water Engineering Co., Ltd., China Jiangsu Nanjing 211200
3. Nanjing Yuzheng Construction Engineering Co., Ltd., China Jiangsu Nanjing 211200

Abstract: The multi-time scale water quantity dispatching method based on irrigation districts includes the following steps: constructing a multi-time scale prediction model to achieve minute-level and hour-level water demand forecasting, and complete water demand trend forecasting for the next few days to weeks; establishing a multi-objective optimization and constraint model, dynamically adjusting target weights and reconstructing the model, and using a non-equilibrium dynamic constraint correction algorithm and fuzzy game to collaboratively optimize the multi-objective optimization model; responding to emergencies through disturbance monitoring and response mechanisms, adjusting water supply priorities; dynamically reconstructing constraint and optimization models based on real-time data, regulating water supply priorities in layers according to the actual situation of the irrigation district, and designing an anti-interference scheduling execution strategy to deal with anomalies. This method addresses the problems existing in traditional dispatching methods, enables multi-level dispatching decisions, optimizes adjustments for short-term and long-term needs, and enhances the intelligence, flexibility, and anti-interference capability of the irrigation district water supply system.

Keywords: Irrigation district; Time scale; Water quantity dispatching; Method

1 技术背景

漱湖灌区位于溧水区东中部，涉及永阳、白马 2 个街镇，设计灌溉面积 8.91 万亩，是南京市溧水区规模最大的灌区。灌区依托石臼湖、新桥河构建了“引、提、蓄”长藤结瓜灌溉系统，配套 45 座灌溉泵站、65.62 千米渠道、20 座中小型水库，骨干工程完好率达 95% 以上，2021 年完成续建改造后实现了“西水东引”，彻底解决东部丘陵区干旱缺水问题。

随着气候变化、用水需求增加以及水资源的有限性，灌区水量调度面临着越来越复杂的挑战。传统的水量调度方法存在信息传递滞后、调度精度不高、无法快速应对突发变化等问题。为了实现水资源的科学管理，需依托先进的技术手段，如传感器网络、大数据分析和优化算法，来实现灌区内水量调度的精准与高效。在灌区水资源管理中，传统的水量调度方法往往缺乏对不同时间尺度用水需求的精准把握和灵活应对。短期调度中，难以根据实时变化的

气象、水文条件及突发用水需求及时调整供水方案，导致供水效率低下和水资源浪费。中长期调度方面，又常因未能充分考虑长期用水趋势和季节性变化，使得供水规划与实际需求脱节，影响灌区的可持续发展。

现有技术存在的不足：现有方法在多源数据融合、多目标优化以及调度过程的闭环控制等方面存在不足，无法实现水资源的高效利用和综合效益最大化。传统调度方法可能依赖于经验或简化的模型，缺乏精确的预测和实时调整能力，容易出现过度抽取水源或供水不足的现象。传统方法缺少足够的灵活性，难以应对复杂多变的气候条件和突发的水资源短缺或过剩问题。为了更好地应对复杂多变的灌区水资源需求，提出了多时间尺度的水量调度方法，这种方法结合了短期和长期的水量调度，通过对不同时间尺度的需求进行综合考虑，实现更加灵活、精准的水资源管理。

基于此，提出一种新型的基于多目标动态优化与自适应调控的水量调度方法，能够实现多层次的调度决策，针对短期与长期需求进行优化调整，提升灌区供水系统的智能化、灵活性和抗干扰能力。

2 技术方案

针对上述问题，为了克服现有技术的上述缺陷，提出一种解决方案。

提供基于灌区的多时间尺度水量调度方法，通过提供基于灌区的多时间尺度水量调度方法，以解决上述背景技术中提出的问题。为实现上述目的，本方法提供如下技术方案：基于灌区的多时间尺度水量调度方法，包括以下步骤：

构建多时间尺度预测模型，通过基于注意力机制引导的混合深度学习模型实现分钟级和小时级用水需求预测，利用基于趋势解析的 XGBoost 模型完成未来几天到几周的用水需求趋势预测；

根据实时数据动态调整约束条件，建立多目标优化和约束模型，并引入强化学习自进化策略，动态调整目标权重和重构模型，采用非平衡动态约束修正算法及模糊博弈对多目标优化模型进行协同优化；

实施多时间尺度弹性调控，划分不同时间尺度动态调整调度策略，通过扰动监测和响应机制应对突发情况，调整供水优先级；

基于实时数据动态重构约束和优化模型，根据灌区实际情况分层调控供水优先级，并设计抗干扰能力调度执行策略应对异常。

在一个优选的实施方式中，所述多时间尺度预测模型包括短期预测模型和中长期预测模型；

所述短期预测模型包括定期收集灌区历史用水需求数据，实时获取水位、水流量、气象预测数据，对数据进行清洗、归一化处理；

将处理后的数据划分为训练集、验证集和测试集，使用训练集对基于注意力机制引导的混合深度学习模型（Attention-GRU+XGBoost）进行训练，调整模型参数，利用验证集评估模型性能，直至模型在验证集上达到较好的预测精度；

将实时数据输入训练好的模型，获取分钟级和小时级用水需求预测结果；

所述中长期预测模型包括收集多年份的历史用水、降雨、土壤湿度数据，进行整理和分析；

将整理后的数据输入基于趋势解析的 XGBoost 模型，设置模型参数，进行训练和优化，通过交叉验证评估模型性能；

结合未来气象预测数据，利用训练好的模型生成未来几天到几周的用水需求趋势预测。

在一个优选的实施方式中，所述建立多目标优化和约束模型具体过程如下：

根据灌区水资源管理目标，确定最小化用水供需偏差、优化生态用水比例、最大化水质达标率的优化目标函数；

根据水库实际容量、流域历史需水总量、生态环境要求以及实时监测数据的变化范围，设定相应的约束条件。

在一个优选的实施方式中，所述引入强化学习自进化策略，动态调整目标权重和重构模型具体过程如下：

定义状态空间、动作空间和奖励函数，初始化强化学习代理模型；利用历史数据和实时监测数据，对强化学习代理模型进行训练，不断调整目标权重，使模型在不同场景下达到最优调度效果；

定期收集实时监测和历史数据，根据非平衡动态约束修正算法，动态调整水库容量上限、生态需水比例和流域总需水量约束，实现优化模型的快速自适应重构。

在一个优选的实施方式中，所述采用非平衡动态约束修正算法及模糊博弈对多目标优化模型进行协同优化过程如下：

定期分析目标函数之间的冲突程度，确定冲突较为突出的目标对；根据冲突程度，利用基于模糊博弈的多目标

协同优化策略，动态分配权重，寻找 Pareto 最优解，平衡冲突目标；

结合实时数据，对不同时间段的优化方案进行滚动调整，确保调度方案的有效性。

在一个优选的实施方式中，所述实施多时间尺度弹性调控过程如下：

实时接收短期和中长期用水需求预测结果；根据不同时间尺度，制定相应的调度策略，在短期（0-6 小时）内，根据分钟级和小时级预测结果，优先满足紧急用水需求；在中期（6-24 小时）内，结合短期预测和实时数据，调整供水计划；

在长期（24 小时以上）时，依据中长期预测结果，进行水资源储备和分配规划。

在一个优选的实施方式中，所述通过扰动监测和响应机制应对突发情况，调整供水优先级过程如下：

利用扰动监测模块，持续监测实时数据，计算实时数据与预测结果的偏差；当偏差超过阈值时，触发扰动响应机制，启动基于扰动敏感度分析的算法；

根据算法计算扰动事件对水量调度影响范围，针对不同类型扰动事件的影响范围，动态生成调整方案，调整供水优先级和供水量。

在一个优选的实施方式中，所述基于实时数据动态重构约束和优化模型过程如下：

综合计算实时数据与预测偏差，并将偏差与既定阈值进行对比，判断是否需要进行动态约束重构；当满足动态约束重构条件时，根据未来入库流量预测结果调整水库容量约束，根据实际情况提高生态用水目标优先级；

通过基于反馈循环的动态优化算法，对比调度执行记录中本次调度方案所设定的预期结果与实时监测数据，计算偏差；根据计算得到的偏差，调整多目标优化模型的目标函数权重，重新优化多目标模型，在下一次调度中应用修正后的优化策略。

在一个优选的实施方式中，所述根据灌区实际情况分层调控供水优先级，并设计抗干扰能力调度执行策略应对异常过程如下：

根据灌区实际情况，将灌区划分为关键区域、次关键区域和一般区域；基于实时监测和预测结果，动态调整供水优先级，在水资源紧张时，优先保障关键区域供水；

当设备或通信出现异常时，启动备用调度方案，利用预测模块的中长期预测结果提供冗余供水计划，确保调度不间断。

3 附图说明

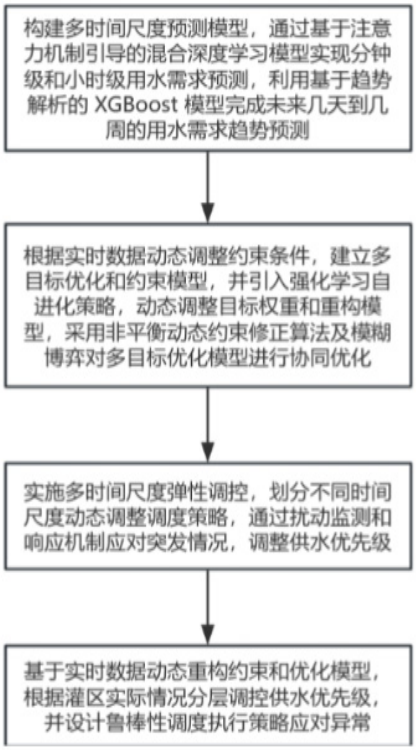


图1 灌区的多时间尺度水量调度方法结构示意图

4 技术效果和优点

（1）通过多时间尺度的调度，能够根据不同时间范围内的水资源需求进行精细化管理，使得水资源的配置更加科学合理，提高水资源的利用效率，减少水资源的浪费。不同时间尺度的调度考虑了季节性变化、天气变化等因素，因此能够及时调整水资源的分配方案，灵活应对灌区内水量的短期波动和长期变化，确保灌区内作物的正常灌溉。多时间尺度调度方法结合了短期和长期的需求预测，可以更加精准地预测未来水需求，并提前进行调度规划，提高了水资源管理的科学性和预见性。采用多时间尺度调度方法，能有效区分不同时间段的水需求，例如短期的日常用水需求与长期的季节性灌溉需求之间的差异，从而合理安排水资源供应，避免供水过剩或短缺。实现了多时间尺度的精准水量调度，提高了供水的及时性和准确性，满足了灌区不同时间尺度的用水需求。通过多目标优化模型及其自进化机制，有效平衡了用水供需、生态用水和水质达标等多方面需求，提升了水资源利用的综合效益。

（2）通过精确调度水量，能够合理分配水资源，避免浪费，降低灌区内的水资源消耗。合理的水量调度确保了作物的适时灌溉，能够提高作物的生长效率和产量，从而增加灌区农业生产的效益。长时间尺度的调度考虑了生态保护和水资源的可持续利用，避免过度抽取水资源，保护

了水源地的生态环境，促进了水资源的长期可持续管理。通过精细的短期和长期水量调度，可以有效调配水资源，增强灌区在干旱时期的抗旱能力，减少自然灾害对农业生产的影响。随着技术的发展，多时间尺度的水量调度方法可以结合现代信息技术自动化调度，提高调度过程的智能化程度，减少人为因素带来的错误，提升调度的精度和效率。该方法能够根据不同时间尺度的需求变化，实时调整水资源的调度方案，提高灌区面对突发事件时的应急响应能力。弹性调控机制增强了调度系统对突发事件和实时变化的适应能力，保障了供水的稳定性和可靠性。优化执行与闭环联动机制提高了调度系统的响应速度和抗干扰能力，确保了整个调度过程的高效运行。

参考文献：

[1] 姚辉宇，王小芳，许耀文等. 尺度耦合 – 层级博弈下灌区水资源优化配置[J]. 农业工程学报，2026, 42(1): 1−12.

[2] 齐学斌，黄仲冬，乔冬梅等. 灌区水资源合理配置研究进展[J]. 水科学进展，2015, 26(2): 287−295.

[3] 吴凌琴，张猛，沈喜等. 基于多目标优化的赣抚平原灌区水资源输配水联合模型研究[J]. 节水灌溉，2025(10): 36−41.

[4] 时荣超，郭文忠. 农业灌溉水资源优化配置研究进展[J]. 农业工程学报，2024, 40(4): 1−13.