

智慧化灌溉技术在水利生产运行调度管理中的应用

张晶东

新疆昌吉市大西渠镇农业发展服务中心，新疆昌吉，831100；

摘要：智慧化灌溉技术以数字化、智能化手段重塑传统灌溉模式，通过整合感知、传输、分析与控制技术，实现灌溉用水的精准调控与高效利用。在水利生产运行调度管理中，该技术可破解传统调度“经验驱动、响应滞后、资源浪费”等难题，推动调度管理向“数据驱动、实时响应、优化配置”转型。本文从智慧化灌溉技术适配水利生产运行调度管理的核心逻辑切入，系统阐述其在调度管理全流程中的应用场景，进而提出技术落地的实施保障路径。研究旨在为水利生产运行调度管理提质增效提供思路，助力水资源可持续利用与农业高质量发展。

关键词：智慧化灌溉技术；水利生产；运行调度管理；精准灌溉；水资源优化

DOI：10.69979/3060-8767.25.12.030

引言

现在，水资源供需矛盾越来越突出，农业现代化也在加快推进，水利生产运行调度管理面临着“保障灌溉需求”和“节约水资源”的双重挑战。传统灌溉调度靠人工经验判断，只根据有限的气象、土壤墒情数据制定灌溉计划，存在调度精度低、用水效率差、应对极端天气能力弱等问题。比如，没法实时知道田间水分变化，导致灌溉太多或太少；不能根据水源情况调整调度方案，造成水资源浪费。智慧化灌溉技术结合了物联网、大数据、人工智能等数字技术，能对灌溉全流程进行动态监测、智能分析和精准控制，给水利生产运行调度管理提供“感知-决策-执行”的一体化解决方案。所以，研究智慧化灌溉技术在调度管理中的应用，是提高水利生产运行效率、实现农业节水减排的必做之事。

1 智慧化灌溉技术适配水利生产运行调度管理的核心逻辑

智慧化灌溉技术能适配水利生产运行调度管理，是因为二者在“精准、高效、协同”的目标上高度一致，核心逻辑体现在数据感知、智能决策、动态执行三个方面。

1.1 数据感知：破解调度信息不对称困境

水利生产运行调度管理需要全面、实时的基础数据，包括水源数据（水库水位、河道流量、地下水埋深）、田间数据（土壤墒情、作物长势、作物需水量）、气象数据（降雨量、蒸发量、温度、风速）等。传统调度中，这些数据大多靠人工采集，存在采集次数少、覆盖范围小、数据滞后等问题，导致调度决策没有精准依据。智

慧化灌溉技术通过安装物联网感知设备，比如土壤墒情传感器、作物长势监测相机、气象站、水位流量计，能自动采集全维度数据并实时传输，构建“水源-田间-气象”一体化数据感知网络。这些数据实时传到调度管理平台，打破“水源端和田间端”的信息障碍，给调度决策提供动态、精准的基础数据，解决传统调度“信息滞后、判断片面”的问题。

1.2 智能决策：替代传统经验驱动模式

水利生产运行调度的核心是制定科学的灌溉方案，包括确定灌溉时机、灌溉水量、灌溉顺序，这需要综合考虑水源供给能力、作物需水规律、气象预测信息等因素。传统调度靠管理人员经验判断，容易受主观因素影响，没法平衡多方面因素。比如，忽视短期降雨预测，导致灌溉和降雨重叠，浪费水资源；没根据不同作物需水差异制定方案，导致灌溉效率低。智慧化灌溉技术通过大数据分析和人工智能算法，构建灌溉调度决策模型。基于历史灌溉数据、作物生长模型、气象预测数据，精准计算不同地块、不同作物的需水量；结合水源实时供给能力，用优化算法制定“量水而行、按需分配”的灌溉调度方案，包括优先灌溉区域、单次灌溉时长、水源调配路径等，让调度决策从“靠经验”变成“靠数据”，提高决策的科学性和精准性。

1.3 动态执行：实现调度方案的实时落地

高效执行调度方案是水利生产运行调度管理的关键。传统调度中，灌溉指令靠人工传到田间，灌溉阀门、水泵等设备也靠人工操作，存在执行效率低、响应慢、偏差大等问题。比如，人工调整灌溉时间比调度指令晚，导致实际灌溉量和计划不一样；没法根据田间突发情况

(如突发降雨)及时调整执行方案。智慧化灌溉技术通过安装智能控制设备,比如电动阀门、变频水泵、智能灌溉控制器,构建远程自动执行系统。调度管理平台生成的灌溉方案能直接变成控制指令,通过 4G/5G、LoRa 等无线通信技术传到田间智能设备,实现灌溉阀门自动开关、水泵转速精准调节。同时,系统能根据田间实时感知数据(如土壤墒情达标、突发降雨)自动调整方案,暂停或减少灌溉,确保调度方案动态优化、高效执行,形成“决策-执行-反馈”的闭环管理。

2 智慧化灌溉技术在水利生产运行调度管理中的应用场景

智慧化灌溉技术覆盖水利生产运行调度管理的“监测预警、方案制定、执行调控、效果评估”全流程,通过技术支持实现各环节的智能化升级。

2.1 灌溉前期:动态监测与风险预警

灌溉前期,智慧化灌溉技术主要用于监测水源、田间、气象情况,以及预警灌溉风险。水源监测上,用水位传感器、流量传感器实时监测水库、池塘、河道的水位和来水量;通过地下水监测井收集地下水埋深数据,掌握水源供给能力;用水质传感器检测水源水质,保证灌溉用水符合作物生长需求。田间监测上,靠土壤墒情传感器(测土壤含水率、温度)、作物茎秆直径传感器、叶面积指数相机,实时获取作物生长状态和土壤水分情况,精准判断作物需要浇水的关键时期;用视频监控查看田间灌溉设施(如渠道、管道、阀门)的运行状态,及时发现设施损坏或堵塞问题。气象监测与预警上,整合本地气象站和区域气象平台数据,获取降雨量、蒸发量、温度、湿度、风速等实时气象信息;结合短期气象预测模型,预警干旱、暴雨、高温等极端天气。预测到干旱时,提前制定应急灌溉方案;预测到暴雨时,及时暂停灌溉并做好排水准备,避免涝灾。

2.2 灌溉中期:智能调度与精准执行

灌溉中期是制定和执行调度方案的关键阶段,智慧化灌溉技术通过智能决策和自动控制,实现精准、高效的灌溉调度。智能调度方案制定上,调度管理平台整合水源供给、田间需水、气象预测数据,用多目标优化算法(兼顾节水、增产、水源平衡)生成最优方案:按作物需水优先级(如经济作物优先粮食作物、灌浆期作物优先苗期作物)确定灌溉顺序;按水源分布和输水距离优化灌溉区域分组,减少输水损耗;按水泵、渠道的输

水能力确定单次灌溉时长和流量,避免设备过载或渠道漫水。精准执行上,调度方案通过平台自动发送到各灌溉单元的智能控制设备,实现“远程、自动、精准”操作:管道灌溉系统中,电动阀门按指令自动开关,变频水泵调节输出流量,保证实际灌溉量和计划一致;滴灌、喷灌系统中,智能灌溉控制器精准控制灌水器的工作时间和频率,实现“水肥一体化”精准施用。执行过程中,系统实时收集田间墒情和设备运行数据,若实际墒情与计划偏差大(如灌溉不足或过量),自动调整控制指令,优化灌溉过程。

2.3 灌溉后期:效果评估与方案优化

灌溉后期的核心是评估灌溉效果,总结经验并优化后续调度方案,智慧化灌溉技术通过数据分析和模型更新实现这一目标。灌溉效果评估上,从“作物生长”和“水资源利用”两方面进行:根据作物长势监测数据(如株高、产量、品质),对比灌溉前后作物生长变化,评估灌溉对增产的作用;根据水源消耗和灌溉面积,计算灌溉水利用系数(作物实际利用水量与总灌溉水量的比值),评估水资源利用效率;同时,分析灌溉中是否出现设备故障、调度延迟等问题,总结执行中的不足。方案优化上,把本次灌溉的调度方案、执行数据、效果评估结果存入历史数据库,用机器学习算法挖掘“水源-需水-气象-效果”的关联规律,优化调度决策模型参数。比如,根据不同土壤、作物的灌溉效果,调整需水量计算模型;根据不同气象条件的调度效果,优化应急预案。通过持续数据分析和模型更新,提升后续调度方案的科学性和适配性,形成“评估-优化-提升”的良性循环。

3 智慧化灌溉技术在水利生产运行调度管理中应用的保障路径

3.1 技术体系建设:构建“感知-传输-平台-控制”一体化架构

技术体系是智慧化灌溉技术应用的基础,要搭建全链条、一体化的技术架构。在感知层,科学布置感知设备。根据灌溉区域大小、作物类型、水源分布,合理安装土壤墒情传感器、气象站、水位流量计、视频监控等设备,保证数据采集全面、精准;选择能抗干扰、耐恶劣环境(高温、潮湿、盐碱)的工业级设备,提高设备稳定性,延长使用寿命。在传输层,采用“无线+有线”结合的传输方式。远距离、大范围的数据传输(如水源数据、区域气象数据),用 4G/5G、卫星通信技术;田间短距离数据传输(如传感器与控制器之间),用 LoR

a、ZigBee 等低功耗广域网技术；确保数据传输实时、稳定、安全。在平台层，搭建水利生产运行调度管理云平台。整合数据存储、分析、决策、控制功能，具备数据可视化（如水源水位动态曲线、田间墒情热力图）、智能决策、远程控制、预警提醒等核心功能；平台要能和现有水利管理系统（如水资源管理系统、灌区管理系统）对接，保证兼容性。在控制层，安装智能控制设备。包括电动阀门、变频控制柜、智能灌溉终端等，确保设备和平台通信顺畅，能精准执行调度指令。

3.2 制度标准完善：规范技术应用与管理流程

制度标准是智慧化灌溉技术有序应用的保障，要建立覆盖“技术应用、数据管理、运维管理”的制度体系。在技术应用标准上，制定智慧化灌溉技术应用规范，明确感知设备选型、安装调试、数据采集频率的标准；制定灌溉调度决策模型构建标准，统一需水量计算、水源优化配置的方法；制定智能控制设备操作标准，规范设备开启、关闭、参数调整的流程。在数据管理制度上，建立数据采集、存储、共享、安全管理办法，明确数据所有权、使用权和保密要求；制定数据质量审核标准，保证采集数据真实、准确；建立数据备份与恢复机制，防止数据丢失或损坏。在运维管理制度上，建立智慧化灌溉系统运维责任制度，明确运维人员的职责（设备巡检、故障维修、数据维护）；制定设备定期巡检与维护计划，定期检查感知设备、传输设备、控制设备的运行状态，及时更换老化部件；建立应急运维机制，针对设备故障、网络中断等突发事件，制定应急预案，确保系统快速恢复运行。

3.3 人才培养：打造复合型技术管理团队

人才是智慧化灌溉技术深度应用的核心，要培养“懂水利、懂技术、懂管理”的复合型队伍。开展管理人员培训，内容包括智慧化灌溉技术原理、调度管理平台操作、智能决策模型应用等，提高管理人员用技术开展调度工作的能力；加强技术人员培训，针对设备运维、数据分析、系统调试开展专项培训，提升技术人员解决设备故障、优化系统性能的能力；开展基层操作人员培训，重点培训智能控制设备的日常操作、简单故障排查，确保田间操作人员能熟练使用智慧化灌溉设备。同时，加强和高校、科研机构、技术企业的合作，通过“产学研”

结合引进高端技术人才；建立人才激励机制，对在技术应用、调度优化中表现突出的团队和个人给予奖励，吸引优秀人才投身智慧化灌溉技术应用与水利生产运行调度管理领域。

3.4 资金投入保障：构建多元化资金支持体系

智慧化灌溉技术应用需要前期设备采购、平台建设和后期运维资金，要搭建多元化资金投入体系。争取政府财政支持，把智慧化灌溉技术应用纳入水利发展专项资金、农业现代化发展资金支持范围，重点支持感知设备、调度平台、智能控制设备的建设；引导社会资本参与，鼓励农业企业、灌溉服务组织投资智慧化灌溉项目，通过“政府+企业+农户”模式分担投资成本；建立长效运维资金保障机制，把智慧化灌溉系统运维费用纳入水利部门或灌区管理单位的年度预算，确保系统长期稳定运行。同时，探索智慧化灌溉技术应用的收益分享机制，用提升灌溉效率、增加作物产量产生的收益，反哺技术应用与系统运维，形成“投入-收益-再投入”的良性循环。

4 结语

智慧化灌溉技术为水利生产运行调度管理提供了智能化、精准化的解决方案，其在数据感知、智能决策、动态执行等方面的优势，能够有效破解传统调度管理的痛点，实现灌溉用水的高效利用与水利生产的优化运行。随着数字技术的持续发展，智慧化灌溉技术将向“更智能、更协同、更绿色”的方向升级——例如融合数字孪生技术构建灌溉系统虚拟模型，实现调度方案的模拟推演；结合区块链技术确保灌溉数据的不可篡改与可信共享。未来，需进一步推动技术创新、制度完善、人才培养与资金保障的协同发力，让智慧化灌溉技术在水利生产运行调度管理中发挥更大价值，为水资源节约集约利用、农业高质量发展与乡村振兴提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 李晓明. 智能化水利调度系统在农业灌溉中的应用研究[J]. 水利科技与经济, 2023, 29(2): 45-49.
- [2] 赵刚. 农田灌溉智能化调度系统的设计与实践[J]. 水利科技进展, 2022, 32(6): 78-82.
- [3] 陈强. 基于物联网的农田灌溉智能化管理系统研究[J]. 农业工程学报, 2021, 37(5): 125-130.