

智能水利系统在农业灌溉中的节水效能分析

杨晓鸣¹ 余少敏² 冀保音³ 杨少刚⁴ 陈耀武⁵

1.内蒙古河套灌区水利发展中心乌兰布和分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

2.内蒙古河套灌区水利发展中心永济分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

3.内蒙古河套灌区水利发展中心乌拉特分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

4.五原县水利局 内蒙古 巴彦淖尔 015000

5.内蒙古河套灌区水利发展中心永济分中心 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘要】：在水资源紧缺的大环境下，节水灌溉已是农业生产的重要方向，智能水利系统则以其自身的科技优势为这一转变提供了关键支持。文章以农业灌溉智能节水效率为研究对象，从水资源利用、灌溉精度等多个方面进行深入剖析，揭示其对用水效率的影响机理，并从设备升级、算法优化、数据共享和能源集成等方面提出相应的技术改进方案，为促进农业水资源高效利用，促进农业绿色可持续发展提供可借鉴经验。

【关键词】：智能水利系统；农业灌溉；节水

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.032

农业用水需求量大，在灌溉环节的用水过程中存在着严重的水资源浪费。传统灌溉缺少精确的调节机理，难适应不同的作物需水量和气候条件，造成水资源浪费。将感知、决策和控制相结合的智能水利系统能够对灌溉进行智能控制，是解决传统灌溉难题，提高节水效果的有效支撑。对智能水利系统的节能有效性进行研究，提升系统的节水效能，对于节约灌溉水资源具有重要意义。

1 智能水利系统在农业灌溉中的节水效能

1.1 水资源高效利用

智能水利基于多维传感器，实现对土壤、作物需水量、气象等农业灌溉数据的集成和分析，并通过大数据分析智能化的决策，对流域内的水资源进行动态、精确的配置，并将其对水资源的使用效率进行量化展示和精准利用^[1]。在田间试验中，通过对试验田小麦种植区 0-20cm 土壤水分的实时监测，在土壤湿度小于 18%的情况下，进行精确的灌水，达到 22% 以上停止灌水，与常规的人工灌溉相比，节水效果显著提高。在区域层面，将智能水利调度应用于某大型农场，通过对该地区的水资源需求进行动态模拟，使其在流域范围内进行地表水和地下水的协调配置，使其年节水总量降低了 32 万 m³，节水效率达到 29.1%。

1.2 灌溉精准度效能

灌溉精度是影响农业生产效率的重要指标，智能水利系统基于“传感—决策—实施”的闭环控制提升了农业灌溉的精准性。与常规灌溉（漫灌、沟灌等）相比智能灌溉有着明显不同，其节约效益的优点在比较中得到了充分体现。在时空准确性方面，常规的灌

水方式依赖于经验，容易造成早灌或晚灌的现象，造成了水资源的严重浪费和农作物的水分短缺。智能水利通过对不同生长阶段的水分需求和环境参数的分析，对灌水时间进行精确的预测，例如，在拔节末期，当需要水分的关键时期，可以进行 24 h 的预警和灌水，灌水时间的准确性达到 95%，从而防止了无效灌溉。在用水精度比较方面，常规灌溉“跑冒滴漏”问题比较突出，用水效率只有 0.4~0.5；而智能喷灌和滴灌系统采用的是流动检测和频率转换的方法，可以使每公顷的灌水精度达到±5%，用水效率提高。

1.3 农业生产辅助效能

智能水利系统的作用，既可表现为直接节约用水水平，又可通过其对农业生产的辅助作用，间接提高用水效率，达到节约增效的目的。在作物长势监控上，利用多波段遥感技术获取作物叶片水分、叶绿素等生理参数，构建“灌水—作物生长”的关系，实现对作物长势的精确调控。比如，在结果期，通过对结实率和水分变化的实时监控，调控灌水频率和灌水次数，不仅可以防止水分不足造成的畸形，还可以防止过度浇水引起的病虫害。

2 提升智能水利系统在农业灌溉中节水效能的措施

2.1 提高系统传感器和监控装置的精度

传感和监控装置是智能水利系统感知环境、进行精确决策的重要依据，其性能的提升和配置的优化将直接关系到整个系统的用水效率^[2]。在设备更新方面，要以提高关键检测指标的准确性为重点，通过发展高精度的土壤温湿传感器、作物冠层温度传感器和多光谱水质传感器来代替常规的检测方法。比如，将常规

湿度传感器的测定精度误差由±3%降到±1%以下，能够精确地掌握农田水分的微小变化，从而有效地解决由于观测资料的不准确而造成的过度灌水或缺灌等问题。同时进一步提升装备在恶劣天气下的环境适应能力，研制耐高温、耐风沙、耐腐蚀的特种传感器，保证其在干旱、高寒、盐碱等特定地区的长期可靠工作，并保证其观测结果的持续性。

2.2 灌溉控制算法的改进及系统智能更新

现有的智能灌溉技术主要是依靠传统的人工阈值来进行，已很难适应复杂变化的环境和作物长势的变化，需要更新灌溉算法，建立作物生理特征—气象—土壤水分多参量的多参量耦合建模方法^[3]。还可以结合随机森林和 LSTM 神经网络等机器学习方法，利用大样本数据对模型进行训练，最终达到作物需水精确预报的目的。例如，利用近 5 年气象、作物长势和灌水等数据构建 LSTM 预报模型，实现对作物需水 72 h 的精确预报，预报精度小于 8%，比常规的门限预报方法降低了 10%—15%。另外，对算法进行实时、自适应的优化。利用传感器获取的土壤水分、作物长势和天气变化等信息，建立基于土壤水分、作物长势和天气变化的动态反馈调控机理。根据不同农作物的需水特点，设计相应的算法模型，例如：针对小麦的“生长期分区需水量”算法，针对果树的“精确灌水”算法等，以达到与作物相适应的最佳灌溉方案。基于模糊控制器的供水调度策略，解决极端天气和设备故障等不确定性对调度策略的影响。

2.3 提高系统的连通性和信息分享功能

现有的智能水务大多出现“信息孤岛”现象，不同地域、不同区域之间的数据无法实现互联与共享，严重影响了农业灌溉水资源利用效率的总体提高。要提高信息网络的连通性和信息的共享，在技术结构层次上，通过建立统一的信息平台和通讯协议（MQTT、OPC UA 等），集成和更新已有的灌溉控制系统、气象监测系统和土壤监测系统，建立统一的物联网传感

网，实现不同设备和系统的无缝隙连接。比如，将农田传感器数据、灌溉设备运行数据和气象观测数据通过标准化的接口接入到统一的云计算平台中，突破数据屏障，达到数据的实时流动和协作。从信息共享的角度出发，构建分级的信息共享系统，确定了信息共享的范围、权限和流程。横向推进农林水利气象信息系统的信息共享，实现多部门信息集成，为水利部门的决策支持；在垂直方向上，通过省、县级管理平台、乡镇监测站、田间终端四个层次的信息互联，保证了精确的指挥。

2.4 新能源与智能水利系统的融合应用

将新能源技术与智慧水务技术相结合，既可以有效地解决边远地区农业灌溉装备的电力供应问题，又可以通过提高能量的有效利用来提高整个系统的节约用水效率。在选择能源时，要考虑到当地的天然优势，优先发展太阳能、风能等清洁能源，并与智慧水务系统相结合。在我国干旱、半干旱区，在日照较强的区域，大力发展光电驱动的智能喷灌技术，利用光电模块将太阳能转换成电力，为传感器、控制器、灌溉泵等装置提供动力，并配合蓄能装置，以满足晚间和阴雨天气时的电力需求，从而达到节水灌溉用水的目的。研究“新能源+智慧水利+水肥一体化”的集成方式，以新能源为动力，保证水肥混播、精准滴灌等各个过程的平稳运转，达到水肥资源的高效利用，进而提高灌区的整体节水效果。

3 结语

智能水利系统是提高农业灌溉效率的科技手段，其关键是通过精确控制来进行用水的有效匹配和合理使用。从系统节约效益的角度出发，进而论述了提高节约效益的途径，即技术优化、系统协作和方式革新。今后，需要继续推进智能水利的不断更新和在实际中的运用，加强多个体系的协调，使整个系统的节水潜能得到最大限度地发挥。促进农业生态环境保护和生态环境保护的协调发展。

参考文献：

- [1] 杨尚敏.智能水利系统在农业灌溉中的节水效能分析[J].世界热带农业信息,2025,(10):78-80.
- [2] 王慧,张五昌.智能灌溉系统在现代农田水利工程中的应用效果分析[J].农业科技创新,2025,(25):42-44.
- [3] 杨发.智慧水利在农业灌溉中的应用与效果分析[J].河北农机,2025,(04):126-128.