

内蒙古东部寒区水稻田自动控制灌溉系统研究

李博¹, 徐阳¹, 李敏¹, 田丹¹, 董晋源¹, 章策², 杨宏志¹

(1. 内蒙古自治区水利科学研究院, 呼和浩特 010060;

2. 兴安盟防汛抗旱调度中心, 内蒙古 乌兰浩特 137400)

摘要: 水稻产业已经成为内蒙古自治区东部寒区主要产业之一, 受水土资源分布不均、水资源短缺等因素影响, 水稻产业发展受到限制。为提高当地灌溉管理水平和灌溉水利用效率, 根据内蒙古东部寒区特点制定科学节水灌溉制度, 并将自动化、信息化技术引入田间, 形成水稻田自动控制灌溉系统, 完成灌溉任务。结果表明, 在相同气候条件和农业种植条件下, 自动控制灌溉比常规灌溉的灌水量降低 37.3%, 水分生产率提高 28.8%。水稻田自动控制灌溉技术显著减少人力资源, 节水效果十分显著。未来还需要进一步开发灌溉预报模型和灌溉决策模型, 提高灌溉用水决策的科学性, 形成智慧灌溉系统。

关键词: 水稻田; 自动控制系统; 节水灌溉

中图分类号: S274.2

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022068

李博, 徐阳, 李敏, 等. 内蒙古东部寒区水稻田自动控制灌溉系统研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.1): 66-68.

LI Bo, XU Yang, LI Min, et al. Study on Automatic Control Irrigation System of Paddy Field in Cold Region of Eastern Inner Mongolia[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.1): 66-68.

0 引言

内蒙古自治区东部寒区气候条件适宜种植水稻, 2020年全区水稻种植面积为 $1.53 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 95%集中在呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市和赤峰市。其中, 兴安盟种植面积最大, 占全区60%^[1-5], 水稻产业已成为兴安盟脱贫攻坚、增加农民收入的重要手段。相比其他粮食作物, 水稻耗水量大, 根据以水定产、定额管理的原则, 限制了内蒙古水稻产业发展, 已有水稻灌区大部分田间工程配套较差、管理落后, 资源浪费严重, 运行效率不高。水稻自动控制灌溉系统是根据内蒙古东部寒区特点制定科学的节水灌溉制度, 并将自动化、信息化技术引入田间, 形成自动控制灌溉系统, 完成水稻灌溉任务^[6-10]。该系统结合自动控制技术、无线传感器组网技术, 具有高稳定性、较低的使用成本、节能性能良好的特点, 满足农业生产领域对灌溉的需求, 可提高生产效率, 减少人力成本, 大大提高农业水资源的利用效率^[11-15]。

1 试验区基本情况

试验区位于兴安盟扎赉特旗巴彦扎拉嘎乡水田

村灌区, 灌区面积 333 hm^2 , 全部为水稻田, 干渠与支渠全部衬砌, 渠首与支渠口装有测控一体化自动闸门。选取一条已经衬砌农渠所控制的 0.93 hm^2 水稻田作为试验区, 共有7块格田, 每块格田面积 0.13 hm^2 。

2 自动控制灌溉系统构成

自动控制灌溉系统分为3个部分, 包括信息感知与传输子系统, 远程自动灌溉控制子系统和自动控制灌溉管理平台。

2.1 信息感知与传输子系统

在试验区每块格田内安装1台稻田环境监测站, 1台气象站和1个摄像头, 由以上设备组成试验区信息感知与传输子系统。系统包含4个基本功能模块: 数据采集模块、通信组网模块、电源模块、控制器模块。

数据采集模块利用田间设置的环境监测器, 获取农田环境数据, 包括稻田环境监测站采集田间水层深度和土壤墒情, 气象站收集空气温度、空气相对湿度、风速、太阳辐射、降水量等环境数据, 视频监控可实时监测作物长势与稻田现场情况。

通讯组网模块根据试验区灌溉与管理的实际需求, 采用适应灌区网络环境的通信协议, 形成低功耗、低成本、可靠性高的信息通讯传输系统, 构建数据采集与传输系统。

电源模块采用独立太阳能供电装置, 该模块主要

收稿日期: 2022-02-10

基金项目: 内蒙古水利科技项目(NSK202105)

作者简介: 李博(1987-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事灌溉排水与节水技术研究。E-mail: hadalibo@126.com

由太阳能电池板、太阳能控制器、蓄电池以及一些测试、监控、防护等附属设施构成。

控制器模块采用 USR-LG206-L-C 的远程 LoRa 控制器和继电器，控制终端内设 LoRa 远程调制解调器，可保证远距离、低功耗扩频通信，并具有较强的抗干扰性。控制器兼有 A/D 数据转换、数据接收和上传、控制电路开关等作用，继电器起保护电路的作用。

2.2 远程自动灌溉控制子系统

在试验区每块格田安装 1 台自动控制闸门和 1 台自动排水闸门组成远程自动控制灌溉子系统。系统包含 4 个基本模块：控制模块、电源模块、动力模块及通信组网模块。

控制模块负责闸（阀）门启闭命令的接收、实时数据上传和控制闸（阀）门启闭；主要由采集节点和汇聚节点组成，控制终端采用 USR-LG206-L-C 的远程 LoRa 控制器和继电器，控制终端内设 LoRa 远程调制解调器。此外，控制模块包含上下 2 个限位开关，分别控制闸门开启上限和关闭下限，到达上下限时闸门启闭操作自动停止。

电源模块信息感知系统的电源模块类似。动力模块负责将电能转换为机械能，为闸（阀）门模块提供动力，采用电机和齿轮实现电能和机械能的转换，电机与控制模块、电源连接，以实现电机开启关闭的控制；齿轮与闸门拉索连接，以实现闸门的启动和关闭。

通信组网模块负责数据发送和接收，设备组网方式采用 LoRa 组网方式。LoRa 网络以汇聚节点为主、

采集节点为从的主从关系作为主要通信方式，采集节点接收到汇聚节点发出的指令信息后，能对指令信息进行解析，并做出相应操作，当采集节点未收到操作指令时，其便会以默认设置执行操作。LoRa 网络节点在信道活动检测模式下对信号进行实时监听，如果并未监听到信号，直接进入休眠模式并等待下一次唤醒；如果监听到信号，立即转入判断信号的工作模式，当数据采集终端自动唤醒（如每隔一定周期自动启动）或由外部信号触发，数据采集终端自动上电，并使数据传输模块上电，完成数据采集、自记、传输。

2.3 自动控制灌溉管理平台

在 LAMP 框架下开发基于网络的智慧灌溉管理平台。将数据采集、传输系统与远程自动控制灌溉控制子系统整合至自动控制灌溉管理平台上。平台可对传感器数据进行分析，并可对灌溉控制设备进行控制；系统包含登录注册、权限控制、报表统计等功能；构建灌溉控制系统，灌溉用水实现远程监测与管理，可以通过手机 APP 或网页对设备实现远程控制。

3 系统运行情况分析

3.1 试验区灌溉运行情况

根据当地水稻各生育期内的需水规律以及气象数据，试验区采用间歇灌溉模式，详细情况见表 1。表中 0-30-40 分别为灌前下限、灌后上限、雨后蓄水上限，灌前下限为土壤含水率占土壤饱和含水率的 85%。

表 1 间歇灌溉全生育期水层控制标准

返青期	分蘖前期	分蘖后期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期
0-30-40	85%-30-50	晒田	90%-30-60	90%-30-60	85%-30-50	自然落干

注 85%是指土壤饱和含水率的 85%，以此类推。

在灌溉期监测站探测到田间水层或土壤水分达到下限值，田口闸自动开启，斗渠水进入田间开始灌溉，监测站探测到田间水层达到上限值，田口闸自动关闭停止灌溉，突降暴雨后监测站探测到田间水层超过蓄水上限，排水闸自动开启开始排水，排水达到设定值排水闸自动关闭。

人工查看田间环境监测站查看田间水深或土壤“干”度，发现需要灌溉时用授权的手机向田口进水闸发送开启指令，斗渠水进入田间开始灌溉，当

水深达到既定的上限值，发送指令关闭田口进水闸停止灌溉。

3.2 运行结果与分析

试验区水稻生育期内降水量为 590.2 mm，主要集中在分蘖期 153.2 mm、拔节孕穗期 207.8 mm 和乳熟期 135.4 mm，占整个生育期的 77.4%。对试验区 2021 年水稻自动控制灌溉控制系统灌水情况进行统计，灌水量为 587.3 mm。2021 年作物不同生育期降水量和灌溉情况见表 2。

表 2 2021 年水稻不同生育期降水量与灌溉量

生育期	返青期	分蘖前期	分蘖后期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期
日期	0527—0605	0606—0705	0706—0713	0714—0804	0805—0820	0821—0918	0919—1008
降水量/mm	51.8	113.8	39.4	207.8	8.6	135.4	33.4
灌水量/mm	61.1	257.3	0.0	89.7	90.0	89.3	0.0

在相同气候条件、施肥条件、品种与同种植密度

情况下，自动控制灌溉试验水稻的亩均产量比常规灌

溉管理的亩均产量略有降低, 灌水量降低 37.3%, 节水效果极为明显; 水分生产率提高 28.8%, 详见表 3。

表 3 2021 年示范区作物产量与灌溉用水量对比

Table 3 Comparison table of crop yield and irrigation water consumption in demonstration area in 2021

灌溉方式	产量/ (kg·hm ⁻²)	灌溉量/ (m ³ ·hm ⁻²)	耗水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	水分生产率/ (kg·m ⁻³)
自动控制 灌溉	34.0	17.4	46.8	0.76
人工常规 灌溉	35.7	27.7	57.3	0.59

4 结论

内蒙古东部寒区水稻田自动控制灌溉技术, 节水效果十分显著, 有利于推广适宜于当地的节水灌溉模式, 改变传统粗放灌溉, 提高用水管理水平和灌溉水利用效率, 缓解当地用水矛盾。还需要进一步研究对内蒙古东部寒区水稻作物耗水规律和节水灌溉制度进行研究, 开发灌溉预报模型和灌溉决策模型, 提高灌溉用水决策的科学性, 实现智能灌溉, 为内蒙古东部寒区水稻产业可持续发展提供科技支撑。

参考文献:

- [1] 陈子平, 罗怀彬. 灌排系统控制运用技术研究[J]. 广东水利水电, 2002(2):20-27.
- [2] 逢焕成. 我国节水灌溉技术现状与发展趋势分析[J]. 中国土壤与肥料, 2006(5): 1-6.
- [3] 钱梦清, 于泓川, 苏中滨. 稻田节水灌溉系统的研究与设计[J]. 农

- 机化研究, 2012(12): 128-131.
- [4] 陈天华, 唐海涛. 基于 ARM 和 GPRS 的远程土壤墒情监测预报系统[J]. 农业工程学报, 2012(5): 162-166.
- [5] 张增林, 韩文霆. 自动化控制在节水灌溉系统中的应用[J]. 节水灌溉, 2012(10): 65-68.
- [6] 袁寿其, 李红, 王新坤. 中国节水灌溉装备发展现状、问题、趋势与建议[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(1): 78-92.
- [7] 王军, 黄启滨. 水稻田节水灌溉自动控制系统应用与示范[J]. 现代化农业, 2016(2): 22-23.
- [8] 邱照宁, 晏清洪, 王建忠, 等. 水稻田精准节水灌溉全自动控制系统研究[J]. 科技创新与应用, 2016(25): 23-25.
- [9] 王铭铭, 徐浩. 基于物联网的安徽省农田灌溉实时监测及自动灌溉系统研究[J]. 节水灌溉, 2017(1): 68-75.
- [10] 王应海. 土壤含水量(土壤湿度) 数据在智能灌溉决策系统中的应用研究[J]. 节水灌溉, 2017(4): 99-105.
- [11] 管廷存. 基于农田灌溉监测管理技术应用[J]. 水科学与工程, 2019(5): 81-85.
- [12] 王文婷, 翟国亮, 郭二旺, 等. 水肥一体化智能灌溉系统组成与设计[J]. 河南水利与南水北调, 2021(5): 83-84.
- [13] 寇元金. 农田节水灌溉自动控制系统的设计[J]. 农业装备, 2021(8): 17-18.
- [14] 李浩菲, 崔晨旭, 戴雪冰, 等. 田间管渠自动灌溉系统研究[J]. 农业装备, 2021 (8): 23-25.
- [15] 金一娜. 节水灌溉技术在农田水利工程中的应用[J]. 新农业, 2021(2): 22.

Study on Automatic Control Irrigation System of Paddy Field in Cold Region of Eastern Inner Mongolia

LI Bo¹, XU Yang¹, LI Min¹, TIAN Dang¹, DONG Jinyuan¹, ZHANG Ce², YANG Hongzhi¹

(1. Inner Mongolian Research Institute on Hydraulic Sciences, Hohhot 010060, China;

2. Xing'an League Flood Control and Drought Relief Dispatching Center, Ulanhot 137400, China)

Abstract: Rice industry has become one of the main industries in the cold eastern region of Inner Mongolia Autonomous Region. In order to improve the local irrigation water management level and the utilization efficiency of irrigation water, a scientific water-saving irrigation system was formulated according to the characteristics of the cold region in eastern Inner Mongolia, and automation and information technology was introduced into the field to form an automatic control system for paddy fields and complete the irrigation task. The results showed that under the same climate conditions and agricultural planting conditions, the irrigation volume of automatic control irrigation decreased by 37.3% and water productivity increased by 28.8% compared with conventional irrigation. The automatic control irrigation technology of paddy field greatly reduces human resources and has remarkable effect on water saving. Further development of irrigation forecasting model and irrigation decision-making model is needed to improve the scientific nature of irrigation water decision-making and form an intelligent irrigation system.

Key words: rice paddies; automatic control system; water saving irrigation

责任编辑: 韩洋