

# 稻田控制排水 对高邮灌区河道洪水过程的影响

肖 洋<sup>1,3</sup>, 李晨韬<sup>1</sup>, 郭相平<sup>2</sup>, 裴子玥<sup>1</sup>

(1. 河海大学 水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 农业工程学院, 江苏 南京 210098;

3. 苏州科技大学 环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215009)

**摘要:**以高邮灌区为例,采用水文-水动力模型,研究稻田控制排水措施对河道洪峰流量、水位和洪水过程的影响。结果表明,雨前通过控制灌溉适当降低田间水位可减轻稻田出流峰值,随着稻田控制水位的增加,稻田径流峰值逐渐降低。通过稻田控制排水,可降低田间出口峰值流量,改变灌区河道洪水过程,降低河道洪峰流量和水位,减轻灌区内部以及附近河道的防洪压力。

**关键词:**稻田; 控制排水; 洪峰流量; 河道水位; 高邮灌区

中图分类号:TV211

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2024)04-0057-0005

## Effect of controlled drainage in paddy field on flood process of river course in Gaoyou Irrigation District

XIAO Yang<sup>1,3</sup>, LI Chentao<sup>1</sup>, GUO Xiangping<sup>2</sup>, PEI Ziyue<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China)

**Abstract:** Taking Gaoyou Irrigation District as an example, a hydrological hydrodynamic model is used to study the impact of paddy field controlled drainage measures on the peak flood flow, water level, and flood process of the river channel. The results indicate that reducing the field water level appropriately by controlling irrigation before rain can alleviate the peak runoff of paddy fields. As the control water level of rice fields increases, the peak runoff of paddy fields gradually decreases. By controlling drainage through paddy field, the peak flood flow at the field outlet can be reduced, the flood process in the irrigation area can be changed, the peak flood flow and water level of the river can be reduced, and the flood control pressure inside and near the irrigation area can be alleviated.

**Key words:** paddy field; controlled drainage; peak flood flow; river water level; Gaoyou Irrigation District

水稻作为平原区主要的粮食作物之一,种植面积广泛,稻田四周由田埂围成,可作为洪水调蓄空间<sup>[1]</sup>。随着高标准农田的建设,田间沟河的排水能力增大,可使稻田积水顺利排出,利用稻田调蓄洪

水成为可能。因此,在不降低水稻产量的前提下,通过研究田间排水控制措施,充分发挥稻田对降水的调蓄能力,改变田间出流流量过程,延迟河道洪峰发生时间,降低河道洪峰流量和水位,对于减轻

收稿日期: 2024-01-13

基金项目: 江苏省水利科技项目(2021055;2020049)

作者简介: 肖洋(1974—),男,教授,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail: Sediment\_lab@hhu.edu.cn

平原灌区洪涝灾害具有重要的实践意义。目前,有关控制排水的研究主要以控制排水的节水及控污效果分析为主,如通过稻田蓄水控灌<sup>[2]</sup>、控制稻田地下水位<sup>[3]</sup>措施减少排水量和污染负荷。

本研究以江苏省里下河地区的高邮灌区龙奔圩为例,构建稻田产汇流水文模型和河道水动力模型,探索不同降雨重现期下稻田控制排水高度与田间出流峰值之间的影响规律,量化稻田控制排水对平原灌区田间水文过程和河道洪水过程的影响,以期对平原灌区防洪能力提升提供科学思路。

## 1 研究区域概况

本研究选取里下河西部高邮灌区的龙奔圩为研究区域,龙奔圩是典型的平原河网地区,以水稻种植为主,主要降水集中在6—9月。该圩区东起南关干渠的二支渠,西至龙狮沟,南以南关干渠为界,北以北澄子河为界,整个区域的水流走向为由南向北。一般情况下,圩内涝水大部分通过六洋河、中市河和蒋马河自排。当外河水位过高或者自排能力不足时,开启北澄子河和龙狮沟沿线泵站进行抽排。目前圩区有排涝泵站8座,其中外排泵站7座,外排能力达到15.45 m<sup>3</sup>/s。

## 2 研究方法及工况设置

### 2.1 水文与水动力模型

河道水流运动过程中遵循质量守恒定律和动量守恒定律。描述河道一维非恒定流运动的基本方程组(圣维南方程组)由连续方程和动力方程组成。

连续方程为

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \quad (1)$$

式中: $x$ 为自变量距离,m; $t$ 为时间,s; $A$ 为过水断面面积,m<sup>2</sup>; $Q$ 为流量,m<sup>3</sup>/s; $q_L$ 为旁侧入流,m<sup>3</sup>/s,入流为正,出流为负。

动力方程为

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + gA \frac{|Q|Q}{K^2} = q_L V_x \quad (2)$$

式中: $Z$ 为水位,m; $\alpha$ 为动量修正系数; $g$ 为重力加速度,m/s<sup>2</sup>; $K$ 为流量模数,m<sup>3</sup>/s; $V_x$ 为入流沿水流方向的速度,m/s,若旁侧入流方向垂直于主流方向,则 $V_x=0$ ;其他参数含义同上。

外河道可根据外边界条件确定首断面的追赶系数,然后利用追赶法<sup>[4]</sup>推求各断面的水位和流量

关系,得到末断面流量与内节点的水位关系。再通过建立内节点水位方程组,解出内节点水位,最终通过递推关系求出河道各断面的水位和流量。

为分析稻田降水径流影响因素,采用2层水箱模型模拟稻田径流过程,通过试验区8次降水径流过程对模型参数进行率定与验证<sup>[5]</sup>。

### 2.2 雨型设计及控制条件

#### 2.2.1 降水量设计

根据高邮市1983—2021年短历时暴雨资料,参考高邮灌区典型暴雨过程<sup>[6]</sup>,计算其相应的缩放系数,得到不同典型年24 h设计暴雨量,采用同频率法进行缩放得到设计暴雨过程(图1)。

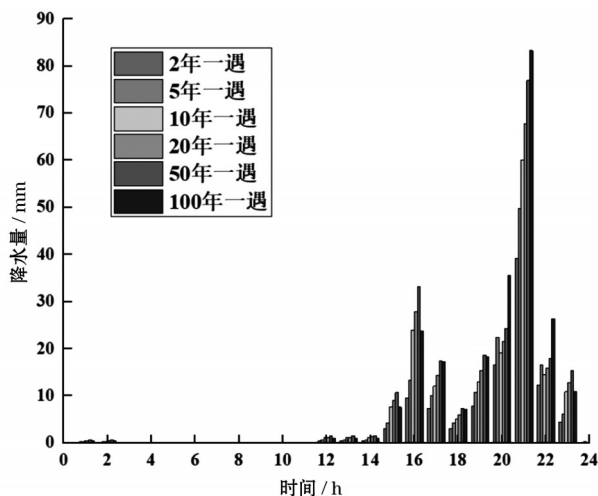


图1 典型降水时程分配

#### 2.2.2 田间允许最大蓄水深度设计

相关实验<sup>[7]</sup>认为,稻田在控制排水150 mm条件下与非控制排水90 mm条件下的产量差异不显著( $P>0.05$ )。故本文选取初始蓄水深度水深0 mm、20 mm、30 mm、40 mm,田间控制水深分别选择80 mm(常规)、100 mm(控排低蓄)、120 mm(控排中蓄)、140 mm(控排高蓄)多种工况,分析稻田控制排水的削峰效果。

## 3 结果与分析

稻田的调节“库容”由降水条件、稻田初始蓄水深和稻田控制排水参数决定。为探明稻田控制排水对河道洪水过程的影响,以高邮灌区典型稻田为例,分别采用流量峰值增长率和流量峰值削减率分析降水重现期、稻田初始水深以及控制排水参数对稻田流量峰值的影响,在此基础上,采用实际降水过程分析稻田控制排水对河道洪水过程的影响。

### 3.1 稻田控制排水对田间产流过程的影响

#### 3.1.1 降雨重现期的影响

采用2年一遇降水为基准,不同降雨重现期及控制排水条件下的稻田流量峰值增长率见图2。从图2可以看出,随着降雨重现期的增加,稻田流量峰值呈现增长趋势,控制排水水位增高可有效减缓该增长趋势。

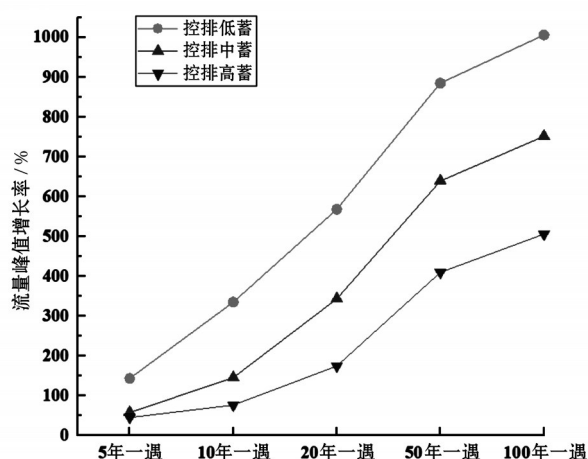
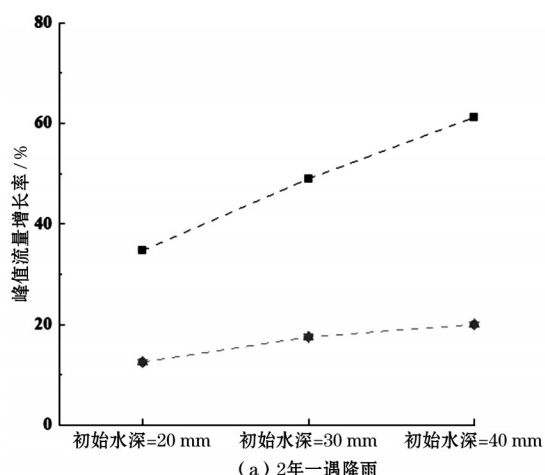


图2 不同降雨重现期下稻田流量峰值增长率

#### 3.1.2 初始田间水深的影

以田间初始水深0 mm条件为基准,不同初始田间水深、控制排水条件下的稻田流量峰值削减率见图3。在较小的重现期,如2年一遇降水情况下,控排低蓄工况下即可较好地控制稻田流量峰值。初始田间水深在2年一遇降雨重现期下,对常规排水条件下稻田峰值流量存在较大影响。同等控制排水条件下,初始田间水深增加会导致流量峰值的增加。



#### 3.1.3 稻田控制排水的影响

稻田控制排水可增加田间蓄水深度,是减少田间峰值流量的有效途径。以常规控制排水条件为基准(图4),可以看出随着降雨重现期的增加,稻田控制排水对稻田流量峰值的影响愈加明显。以50年一遇的降水事件为例,控排高蓄条件流量峰值较常规排水条件降低60%。

#### 3.2 稻田控制排水对河道水动力过程的影响

稻田采用控制排水措施后,排水量减少,排水历时增加,必然对河道水动力过程产生影响。以高邮灌区2014年8月13日至14日降水为例(图5),本次累计降水量108.8 mm,最大雨强达到18.4 mm/h。正常情况下,各级沟道不设控制排水装置,稻田产生的径流通过农沟—斗沟—支沟系统向河道排水,所有排涝闸门处于开启状态,所有泵站处于关闭状态。

由于本次累计降水量仅有108.8 mm,因此在沟河水动力过程分析中采取控制水位80 mm(常规排水)、100 mm(控排低蓄)、120 mm(控排中蓄)3种工况进行分析(图5)。由图5(a)可见,不同田间控制水位下蒋马河中间节点水位过程,水位峰值与降水峰值呈现较强的相关性,随着田间控制水位的增长,河道水位峰值下降。在常规排水条件下,2次河道水位峰值分别为2.59 m和3.36 m,在控排低蓄条件下,2次河道水位峰值分别降低至2.16 m和2.59 m。图5(b)为不同田间控制水位条件下蒋马河中间节点流量过程,与水位过程相对应,流量过程同样存在2个峰值,峰值发生时间与降水峰值接近。随着田间控制水位的增长,流量峰值逐渐减小,由于本次降水量较小,在控排低蓄与控排中蓄

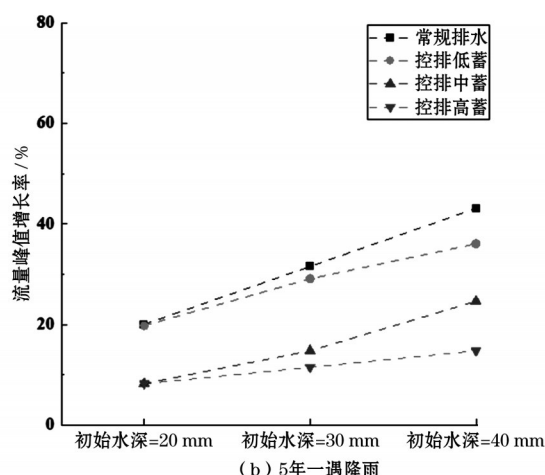


图3 不同稻田初始水深条件下稻田流量峰值增长率

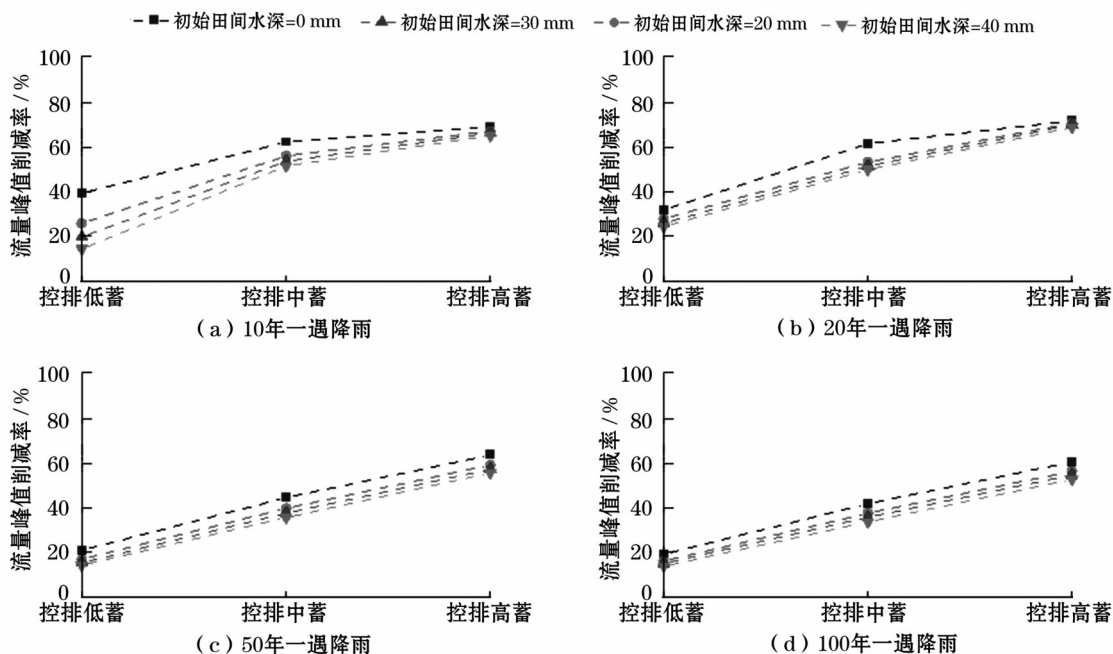


图4 不同降雨重现期不同田间控制水位条件下稻田流量峰值削减率

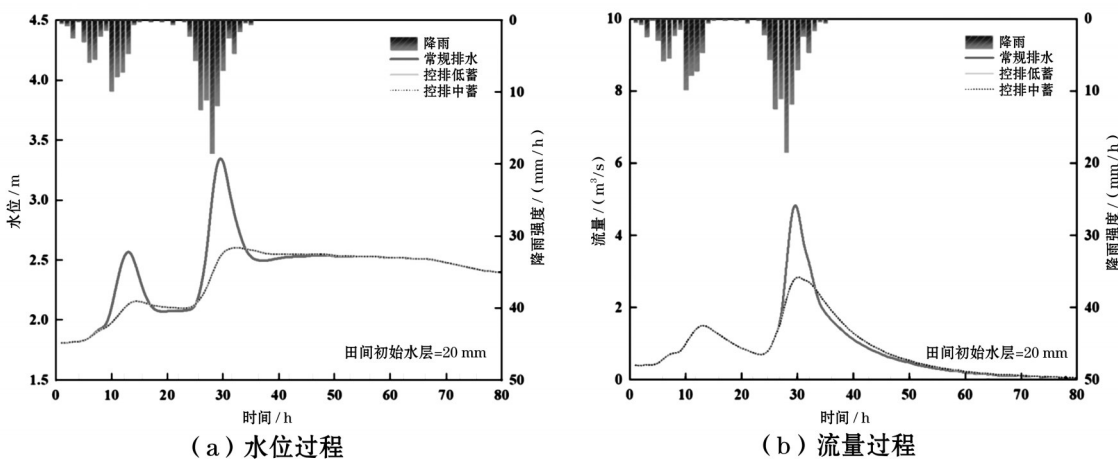


图5 不同工况不同田间控制水位条件下水位、流量过程

情况下未呈现出明显的水位与流量差异。

### 3.3 稻田控制排水对洪水蓄滞能力的影响

洪水蓄留能力由流量峰值削减率 $\rho$ 及水位峰值削减量 $\delta$ 表示。

流量峰值削减率计算式为

$$\rho = 1 - \frac{Q_{\text{控制}}}{Q_{\text{常规}}} \quad (3)$$

式中: $\rho$ 为流量峰值削减率; $Q_{\text{控制}}$ 为稻田控制排水条件下的河道峰值流量; $Q_{\text{常规}}$ 是无控制排水条件下(田间控制水位=0 mm)的河道峰值流量。

河道水位峰值削减量计算式为

$$\delta_{\text{河}} = H_{\text{常规}} - H_{\text{控制}} \quad (4)$$

式中: $\delta_{\text{河}}$ 为河道水位峰值削减量; $H_{\text{控制}}$ 为稻田控制排

水条件下的最大河道水位; $H_{\text{常规}}$ 为无控制排水条件下(田间控制水位=0 mm)的最大河道水位。

洪峰滞后能力由峰值滞后时间表示,其计算式为

$$T_{\text{滞后}} = T_{\text{控制}} - T_{\text{常规}} \quad (5)$$

式中: $T_{\text{滞后}}$ 为峰值滞后时间; $T_{\text{控制}}$ 为稻田控制排水条件下的河道洪峰发生时间; $T_{\text{常规}}$ 为无控制排水条件下(田间控制水位=0 mm)的河道洪峰发生时间。

通过计算可知,在2014年8月13日至14日的降水中,控排低蓄条件下的流量峰值削减率可达到41%,河道水位的峰值削减量约为0.76 m,峰值滞后时间接近1.5 h。上述结果表明,随着田间控制水位的升高,洪水峰值出现的时间也相应滞后。



在控制排水对河道洪水过程影响方面,相关研究结果表明稻田控制排水对南方平原灌区河道的洪水过程影响更为显著。主要原因是本研究选取的区域为平原河网典型稻作区,稻田面积占比大,稻田控制排水的削洪效果更明显。

## 4 结 语

平原区地势平缓、河网密布,同时也是水稻的主产区,在不减产的前提下,利用广阔的水稻田作为蓄洪空间,是减轻区域洪涝灾害的有效措施。本研究以高邮灌区为例,总结了稻田产流的主要影响因素,模拟分析了降雨重现期、初始田间水深、稻田控制排水条件对田间产流过程的影响,以及稻田控制排水对平原灌区河道洪水过程的影响。

随着降雨重现期的增加,稻田流量峰值呈现增长趋势。雨前通过控制灌溉适当降低田间水位,可减轻稻田出流峰值,稻田控制排水比降低初始水位的削峰效果更为显著,控制排水的削峰效果随降雨重现期的增加而增加。稻田尺度控制排水能有效

降低河道洪峰流量和水位,延迟洪峰出现时间。稻田控制排水措施可有效滞蓄平原灌区地表径流,减轻平原灌区和下游河道防洪压力。

### 参考文献:

- [1] 黄璜. 湖南境内隐形水库与水库的集雨功能[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 1997, 23(6): 499-503.
  - [2] 郭相平, 袁静, 郭枫, 等. 水稻蓄水-控灌技术初探[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4): 70-73.
  - [3] 俞双恩, 丁继辉, 陈凯文, 等. 水稻控制灌排原理与技术[M]. 南京: 河海大学出版社, 2022.
  - [4] 程文辉, 王船海, 朱琰, 等. 太湖流域模型[M]. 南京: 河海大学出版社, 2006.
  - [5] 熊玉江, 徐俊增, 李亚龙, 等. 南方平原灌区稻田涝水过程模拟[J]. 排灌机械工程学, 2018, 36(8): 725-731.
  - [6] 刘凤丽, 熊玉江, 范乐, 等. 水稻灌区降雨径流特征及其影响因素研究[J]. 中国农村水利水电, 2022(5): 95-100.
  - [7] 朱成立, 郭相平, 刘敏昊, 等. 水稻沟田协同控制灌排模式的节水减污效应[J]. 农业工程学报, 2016(3): 86-91.
- 
- (上接第 53 页)
- 季风环流等气象要素、地形要素、人类活动都对高强度降水产生不同程度的影响, 而随着城镇化的迅猛推进, 人类活动领域不断扩大, 强度与日俱增, 也逐渐改变着城市的降水结构。常州市主城区属于太湖平原地区, 地形地势相似, 处于同一天气模式控制下, 受相同的环流因子影响, 城镇化导致城市地区高强度降水变化更剧烈, 且其对高强度降水强度的强化作用更为显著。因此, 在城市防洪排涝及雨水排水管网的建设中, 可进一步提高建设标准, 同时提高防洪排涝工程应急调度能力。
- ### 参考文献:
- [1] JIANG X L, LUO Y L, ZHANG D L, et al. Urbanization enhanced summertime extreme hourly precipitation over the Yangtze River Delta[J]. Journal of Climate, 2020, 33(13): 5809-5826.
  - [2] ZHANG W, VILLARINI G, VECCHI G A, et al. Urbanization enhanced the rainfall and flooding caused by hurricane Harvey in Houston[J]. Nature, 2018, 563(7731): 384-388.
  - [3] 何玉秀, 许有鹏, 李子怡, 等. 城镇化对极端降水的影响及其贡献率研究: 以太湖平原地区为例[J]. 湖泊科学, 2022, 34(1): 262-271.
  - [4] 侯鹏敏, 朱业玉, 左璇, 等. 2021年郑州市“7·20”特大暴雨降水极端特征分析[J]. 气象与环境科学, 2022, 45(6): 25-33.
  - [5] 孔锋, 王一飞, 方建, 等. 中国夏季极端降水空格局及其对城市化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(5): 996-1010.
  - [6] 吴子璇, 张强, 宋长青, 等. 珠三角城市化对气温时空差异性影响[J]. 地理学报, 2019, 74(11): 2342-2357.
  - [7] ZHAO N, JIAO Y M, MA T, et al. Estimating the effect of urbanization on extreme climate events in the Beijing-Tianjin-Hebei region, China[J]. Science of the Total Environment, 2019(688): 1005-1015.
  - [8] SEN P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau[J]. Journal of the American Statistical Association, 1968, 63(324): 1379-1389.
  - [9] TABARI H, SOMEI B S, ZADEH M R. Testing for long-term trends in climatic variables in Iran[J]. Atmospheric Research, 2011, 100(1): 132-140.
  - [10] MANN H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica, 1945, 13(3): 245.