

大型灌区水源精准调度模式研究及应用

牟汉书¹, 周 婕², 李 霞³, 熊东红³, 张爱民³, 仇锦先^{2*}

(1. 江苏省淮安市水生态建设服务中心, 江苏 淮安 223005; 2. 扬州大学, 江苏 扬州 225009;
3. 江苏省淮安市淮涟灌区管理所, 江苏 淮安 223001)

摘要:在淮河流域连续遭遇多年旱情的背景下,为解决淮涟灌区灌溉用水问题,对灌区水源调度管理工作进行了探索与研究,逐步形成与完善了“基于动态轮灌的实时调控”大型灌区水源精准调度模式,有效提高了灌区灌溉设计保证率,为大型灌区节水灌溉推广和水源精细化管理提供了新的思路。

关键词:水源调度; 动态轮灌; 实时调控; 大型灌区

中图分类号: S274 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839(2021)04-0016-04

Research and application of precise water resource scheduling model in large – scale irrigation areas

MOU Hanshu¹, ZHOU Jie², LI Xia³, XIONG Donghong³, ZHANG Aimin³, QIU Jinxian^{2*}

(1. Huai'an Water Ecology Construction Service Center, Huai'an 223005, China;
2. Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
3. Huailian Irrigation Area Management Institute, Huai'an 223001, China)

Abstract: Under the background of continuous drought in Huaihe River Basin for many years, in order to solve the problem of irrigation water in Huailian irrigation area, the management of water source dispatching in irrigation area was explored and studied. The precise dispatching mode of water source in large – scale irrigation area based on real – time regulation of dynamic rotation irrigation was gradually formed and improved, which effectively improved the guarantee rate of irrigation design, and provided a new idea for the promotion of water – saving irrigation and fine management of water source in large – scale irrigation areas.

Key words: water resource dispatching; dynamic rotation irrigation; real – time control; large – scale irrigation area

1 灌区概况

淮涟灌区为江苏省淮安市大型灌区之一,建于1958年,位于淮沭以东、北六塘河以南、盐河以北、西张河以西,灌区总面积860 km²,包括涟水县和淮阴区的17个乡镇324个行政村,总人口59.07万人。灌区现有耕地面积535 km²,设计灌溉面积

533 km²。灌区降水量年际变化较大,年内分配不均,旱涝灾害多发。灌区内现有总干渠1条(长度27.6 km,设计流量110.0 m³/s),控制灌溉面积370 km²;沿线依次布设干渠4条,即一干渠(33.9 km, 15.1 m³/s)、二干渠(18.0 km, 10.0 m³/s)、四干渠(东西长13.6 km, 34.25 m³/s;南北长15.7 km, 10.2 m³/s)和三干渠(28.08 km,

收稿日期:2021-02-23

基金项目:江苏省水利科技项目(2017058)

作者简介:牟汉书(1970—),男,高级工程师,硕士,研究方向为节水灌溉与水利工程管理。E-mail: 610041241@qq.com.

通信作者:仇锦先(1971—),男,副教授,博士,主要从事灌排理论与水利规划优化方面的教学与科研。E-mail: qiujsx@yzu.edu.cn

40.5 m³/s), 如图 1 所示。每条干渠渠首均设有渠首闸, 其中总干渠首为淮涟闸, 由省淮沭新河管理处负责管理; 一干闸、二干闸、三千闸、四千闸均由淮涟灌区管理所负责管理调度。

灌的实时水源调度方案, 对灌区水源及各干渠引水量进行科学分配, 减少用水矛盾, 提高灌溉设计保证率, 达到灌区水源效益最大化, 同时最大限度节约灌溉水量。

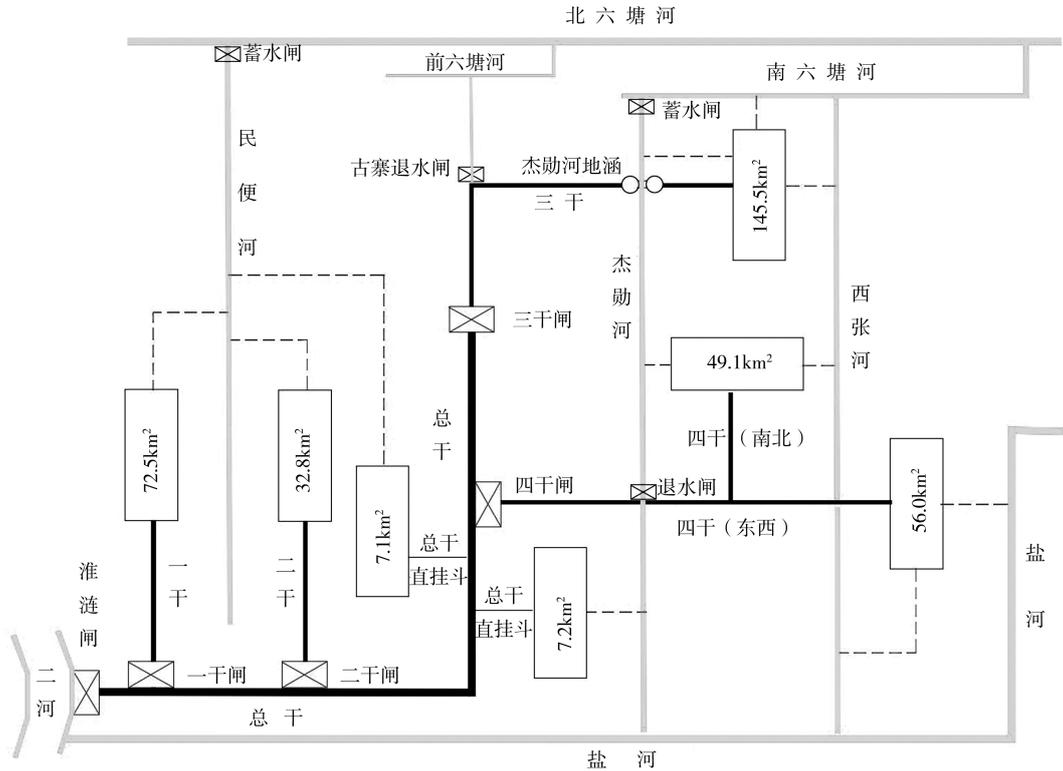


图 1 淮涟灌区骨干(支级以上)灌排渠系网络

灌区灌溉引用水源来自洪泽湖, 淮涟渠首闸由省属单位管理, 灌溉流量实行定量供应, 4 个渠首闸在引水总量一定的情况下, 进行水源分配。灌区灌溉在 2011 年之前一直采用续灌, 没有形成合理有效的灌溉模式, 存在“上游尽抢、下游听赏”的现象。淮河流域历来旱情严重^[1-2], 特别是 2011 年、2012 年连续干旱, 洪泽湖水源极度匮乏, 导致灌区灌溉水量供不应求, 加剧了淮阴、涟水两地的用水矛盾。为有效提高灌区灌溉设计保证率, 切实缓解地方用水矛盾纠纷, 淮涟灌区管理所开始进行水源调度探索与实践, 逐渐形成一套较为合理的水源精准调度模式。

2 水源精准调度模式

基于灌区现有骨干渠系分布以及灌区用水情况, 分析淮涟灌区不同水文年型作物灌溉制度, 基于大数据、云计算、物联网技术, 综合分析每条干渠渠首引水量, 通过干渠渠首闸启闭控制, 在总干渠渠首给定流量相对固定的前提下, 采取基于动态轮

2.1 作物灌溉制度

淮涟灌区水源调度以水稻需水为主要依据。灌区水稻品种以中稻为主, 一般在 5 月中旬育秧, 6 月中旬泡田栽插, 9 月底 10 月初收割。泡田期是灌水定额最大的阶段, 根据淮阴区和涟水县水利试验站《2019 年灌溉水利用系数测定报告》, 结合灌区土壤性质及地下水埋深, 水稻泡田定额取 6.67 m³/hm² (P=85%), 泡田期 5 d。稻田采用浅湿调控灌溉技术, 根据水稻不同生育期适宜水层、土壤墒情、降水量、田间耗水量等, 运用水量平衡原理, 并结合当地灌水经验, 确定不同水文年型水稻灌溉制度。水稻生育期灌溉制度计算时的灌水量、排水量及水层深度确定方法如下:

$$\text{当 } h_{t-1} + P_t - S_t - ET_t < h_{\min} \text{ 时, } m_t = h_{\max} - (h_{t-1} + P_t - S_t - ET_t), \text{ 否则 } m_t = 0;$$

$$\text{当 } h_{t-1} + P_t - S_t - ET_t > H_p \text{ 时, } d_t = h_{t-1} + P_t - S_t - ET_t - H_p, \text{ 否则 } d_t = 0;$$

$$h_t = h_{t-1} + P_t + m_t - S_t - ET_t d_t \quad (1)$$

式中: h_{t-1} 表示第 t 时段初的土壤含水量或田面水层

深度,mm; P_t 表示第 t 时段降雨量,mm; S_t 表示第 t 时段渗漏量,mm; ET_t 表示第 t 时段作物需水量,mm; m_t 表示第 t 时段灌水量,mm; d_t 表示第 t 时段排水量,mm; h_t 表示第 t 时段末的土壤含水量或田面水层深度,mm。

限于篇幅,这里给出了淮涟灌区水稻灌溉制度($P=85\%$),如图2所示,灌溉定额为675 mm(合 $30\text{ m}^3/\text{hm}^2$)。

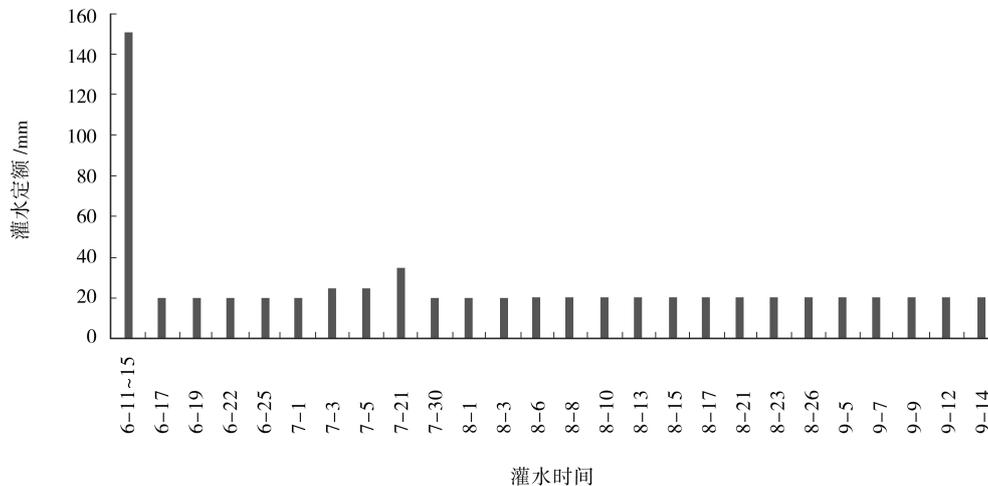


图2 淮涟灌区水稻灌溉制度($P=85\%$)

2.2 灌区轮灌方案

借鉴国内很多学者对灌区最优工作制度开展的研究^[3-4],笔者结合淮涟灌区水源调度存在问题与多年运行经验,对灌区轮灌方案进行了不断探索与总结。淮涟灌区水源引水总量,包括总干渠沿线4条干渠渠首引水量、直挂斗渠引水量和沿程损失水量之和。根据灌区各支渠控制范围内作物灌溉制度、种植面积和灌溉水利用系数等,确定每条干渠渠首引水量(公式(2))。同时,结合总干渠沿线各干渠空间分布及地方各用水片区特殊情况,制定灌区轮灌方案(表1);根据渠首上下游水位、开闸延续时间及闸门开度等,控制渠首最低引水流量。

$$W_i = \sum_{j=1}^{n_j} W_{ji} = \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_k} \frac{\sum_{r=1}^{n_r} A_{rk} m_{ri}}{\eta_k} \quad (2)$$

式中: W_i 表示第 i 时段各条干渠渠首引水量之和; W_{ji} 表示第 i 时段第 j 条干渠的渠首引水量; A_{rk} 表示第 k 条支渠控制范围内第 r 种作物的种植面积,万 hm^2 ; m_{ri} 表示第 i 时段第 r 种作物的灌水定额, m^3/hm^2 ; η_k 表示第 k 条支渠控制范围的灌溉水利用系数。

在具体实践操作中,灌区每条斗渠、支渠或干

渠控制的灌溉区域需水量是不断变化的。一方面由于受到市场经济手段调控影响,大部分农村劳动力基本在城里务工,农忙时回家突击几天完成水稻栽插愿望强,导致灌区灌溉集中用水现象比较明显;另一方面淮阴区水稻集中泡田栽插时间比涟水提前3~5 d,但是涟水的水稻栽插速度往往比淮阴区快。同时,灌区用水面广,各片区灌溉情况复杂,常常导致用水紧张,地方群众矛盾激化,难以顺利

执行轮灌方案。因此,需要及时收集灌区面上用水信息,在上述轮灌方案的基础上,通过统筹调节各个渠首闸门启闭开度,调度各干渠引用水量,缓解用水矛盾,同时使灌溉水源得到高效利用。综合运用大数据、物联网、云计算等现代科技手段,调试与制定灌区动态轮灌方案,具体实现途径如图3所示。

2.3 水源实时调控

水源动态调控是综合运用大数据、物联网、云计算等现代科技手段,基于灌区动态轮灌的基础上,根据灌溉水源供给量、灌区作物需水量实时估算^[5],对水源调度方案进行动态调整,实时改变水源调度方案、防汛防旱预案“一案多年”、渠首闸门“大开大合”的水源粗放管理方式,推动灌区科学高效利用水资源,实现基于现代科技手段综合运用的灌区水源精准调度管理模式^[6]。

3 应用效果分析

淮安市淮涟灌区自2011年实施水源精准调度方案以来,一是节约了灌区灌溉用水量,以灌区水稻用水量为例,忽略其他非主要要素,从2011年应用开始,灌区年均节水0.5亿 m^3 以上(表2),而且

表 1 淮涟灌区直管涵闸(干渠)循环轮灌方案

时 间	第一天	第二天	第三天	第四天	第五天	第六天	...	责任人及联系电话
三千闸	7 时开	7 时关	关	7 时开	7 时关	关	...	站长或管理员联系电话
一千闸	8 时关	10 时开	开	8 时关	10 时开	开	...	站长或管理员联系电话
二千闸	8 时关	10 时开	开	8 时关	10 时开	开	...	站长或管理员联系电话
四千闸	7 时关	7 时开	开	7 时关	7 时开	开	...	站长或管理员联系电话
古寨退水闸	关	关	关	关	关	关	...	站长或管理员联系电话
杰勋河地涵	开	开	开	开	开	开	...	站长或管理员联系电话

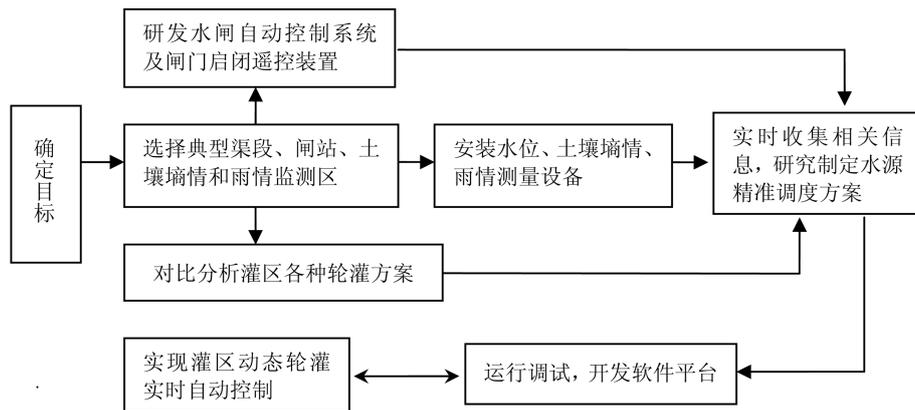


图 3 灌区动态轮灌方案实现路径

表 2 淮涟灌区 2010—2020 年水稻灌溉用水量统计

年份	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
水稻面积/万 hm ²	2.267	2.267	2.26	2.26	2.34	2.34	2.34	2.267	2.267	2.267	2.267
用水量/(亿 m ³)	2.96	2.40	2.10	2.37	1.59	2.79	2.69	2.27	3.26	2.36	1.61
过境水/(亿 m ³)						0.51	0.46		1.72		

水源调度方案越精准,灌区节水效益越明显;二是有效缓解了灌区各片区用水矛盾,整个灌区再未出现因灌溉用水导致群众上访极端事件,而且因为用水量减少了,群众水费支出相应减少,社会效益明显;三是转变了灌区管理人员工作思路,提升了管理水平,推进管理工作迈上新台阶。

4 结 语

本文针对淮涟灌区现状水源调度存在问题,通过不断探索与经验总结,并综合运用大数据、物联网、云计算等现代科技手段,研究并提出了“基于动态轮灌的实时调控”大型灌区水源精准调度模式。

经过多年的实践表明,该模式彻底改变了水源调度粗放管理局面,有效提高了灌区灌溉设计保证率,节水效益显著。

大型灌区水源精准调度模式践行新时期“节水优先、空间均衡”的治水理念,为水利工程精细化管理提供了经验做法,可以在水利工程管理多领域灵活运用,如区域防汛防旱、水库群联合调度、跨流域调水等水源空间调控领域提供了借鉴或工作思路。当然,在具体应用时要统筹考虑,因地制宜,区别对待,科学分析与决策,制定适宜的水源调度方案,才能取得预期的效果。

(下转第 24 页)

可知,水平渗透坡降范围进一步下降至 0.00 ~ 0.092;较天然地基工况下的 0.108 有一定幅度下降。

(3)根据(图 7(b))可知,孔隙水分布范围为 55.83 ~ -560.45 kN/m²;这与天然地基工况下 59.17 ~ -560.45 kN/m²基本一致。

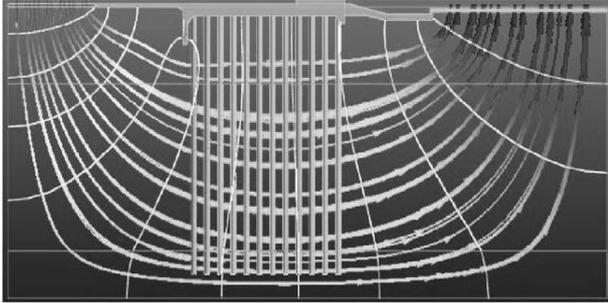


图8 实例工程灌注桩处理工况下基础渗流路径模拟示意

5 结论

本文以江苏省南京市秦淮河某水闸作为实例研究工程,借助迈达斯三维模拟计算软件,采用 2 组特征工况,对比天然地基和灌注桩处理地基下实例工程的渗透规律分布情况,主要研究成果如下:

(1)在各工况下,渗透坡降与总水头成正比;实例工程最大渗透坡出现在低水位(上下游水头差达到 5.5 m)时;最大渗透坡降达到 0.14。

(2)在设置灌注桩基础以后,水头分布发生了较大变化,水头分布由天然地基状态下均匀分布变成两头分布较小,中间较大的情况。同时,由于灌注桩基础的防渗作用和中间段对渗流的干扰,大幅降低了最大水头的占比。

(3)根据以往实例工程经验^[8-11],结合本文数值计算成果可知,在设置灌注桩基础后,可以有效减少蓄水阶段的渗透量;减小渗透压力,有利于实例构筑物结构安全。

参考文献:

- [1] 张师帅. 计算流体力学及其应用—CFD 软件的原理与应用[D]. 武汉:武汉华中科技大学出版社, 2001.
- [2] 胡兆球. 水闸结构设计现代计算方法及其应用研究[D]. 南京:河海大学, 2003.
- [3] Zare HK, Doering JC. Effect of rounding edges of stepped spillways on the flow characteristics[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2012(39):140-153.
- [4] V. U. Minorsky. An analysis of ship collision to protection of nuclear powered plant[J]. J. Ship Research, 1999(1):1-4.
- [5] 殷家驹, 张元冲. 计算力学教程:有限单元法, 边界单元法, 加权残数法[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1992.
- [6] 张生财. 新疆某水库溢洪道布置方案比选[J]. 水利规划与设计, 2015(2):83-85.
- [7] MASAYUKI Takahashi, YOUICHI Yasuda, IWAO Ohtsu. Characteristics of aerated in skimming, transition, and napped flows[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2017(9):881-886.
- [8] 王智辉. 水流数值模拟中群桩阻力系数研究[D]. 南京:河海大学, 2015.
- [9] 李玲, 陈永灿, 李永红. 三维 VOF 模型及其在溢洪道水流计算中的应用[J]. 水利发电学报, 2007, 26(2):1209-1218.
- [10] 曹依雯, 黄润秋, 沈水龙, 等. 基桩对含水层渗流阻挡作用效应研究[J]. 岩土力学, 2014(6):1617-1622.
- [11] 李洪江, 刘红军, 王虎, 等. 饱和海床土-渗流应力耦合损伤及液化破坏规律(II)[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2014(12):1480-1486.

(上接第 19 页)

参考文献:

- [1] 朱建英, 宋玉. 江苏省淮北地区 2000 年抗旱水源调度[J]. 防汛与抗旱, 2000(4):10-12.
- [2] 陶长生, 宋玉, 陶娜麒. 苏北运河的水源调度探索与实践[J]. 中国防汛抗旱, 2015(2):69-73.
- [3] 刘永, 缴锡云, 程明瀚, 等. 基于 DEM 与 Logistic 函数的灌区渠系工作制度模拟——以周桥灌区为例[J]. 灌溉排水学报, 2020(9):101-107.
- [4] 陈晓燕, 陈振军, 张厚芹, 等. 基于灌溉预报的邢家渡灌区灌溉制度数值模拟研究[J]. 中国水利, 2019(15):45-47.
- [5] 徐烈辉, 牟汉书, 王景才, 等. 基于冠气温差的淮北地区水稻日需水量估算模型研究[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(3):119-125.
- [6] 郭旭宁, 胡铁松, 方洪斌, 等. 水库群联合供水调度规则形式研究进展[J]. 水力发电学报, 2015, 34(1):23-28.