排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2015 年 6 月 June 2015 | 第 33 卷 第 6 期 Vol. 33 No. 6

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.14.0135

水田灌排一体化系统的开发与应用

金秋[1], 徐姗姗[2], 夏美玲[1]
(1. 江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017; 2. 南京市水利局, 江苏 南京 210036)


金秋

摘要: 分析国内外农业灌溉和排水领域发展的研究现状和目前常见的灌排装置的特点,针对中国灌溉排水研究领域对节水灌溉、控制排水设施的迫切需求,提出了水田灌排一体化系统的设计方案. 该系统能根据农作物不同时期对水位的需求,充分利用灌溉和降雨的水量,较为精确地控制水田的灌溉和排水水位,解决了原有灌排设备无法同时实现灌溉和排水自动控制的难题. 实际应用结果表明,水田灌排一体化系统试验区和对照区相比,降雨量增加利用 150 mm,降雨利用率提高 21%,减少灌水量 21%;水稻亩产量增加 4.3%;提高肥料的利用效率,减少农业面源污染. 该系统结构简单、操作方便,具有可观的经济、生态效益和广阔的应用前景.

关键词: 灌排设备;节水灌溉;控制排水;地下暗灌;面源污染
中图分类号: S277.9 **文献标志码**: A **文章编号**: 1674-8530(2015)06-0526-05

金秋, 徐姗姗, 夏美玲. 水田灌排一体化系统的开发与应用[J]. 排灌机械工程学报,2015,33(6):526-530.

Jin Qiu, Xu Shanshan, Xia Meiling. Development and application of irrigation and drainage equipment system[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering(JDIME), 2015,33(6):526-530. (in Chinese)

Development and application of irrigation and drainage equipment system

Jin Qiu[1], *Xu Shanshan*[2], *Xia Meiling*[1]
(1. Jiangsu Water Conservancy Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210017, China; 2. Water Resources Bureau of Nanjing City, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: The research status of the field of agricultural irrigation and drainage at home and abroad, and the features of current common irrigation and drainage device were analyzed. To meet the urgent needs of water-saving irrigation and controlled drainage equipment in China, the integration of irrigation and drainage equipment system was proposed. This system, which depended on the demand for water table of crops in different periods, made good use of rainfall and irrigation, accurately controlled water table of irrigation and drainage for paddy fields, and solved the problem that current irrigation and drainage equipment could not simultaneously achieve automatic control of irrigation and drainage. The results show that test area for paddy field integration of irrigation and drainage system increased by 150 mm use of rainfall, rainfall utilization ratio increased by 21%, irrigation rate decreased by 21% and rice yield increased by 4.3% per mu compared to the control area. The system could improve the fertilizer utilization ratio and decrease agricultural non-point source pollution. So it is convincible that the system can bring considerable economic, ecological benefits and wide applications.

Key words: irrigation and drainage equipment; water-saving irrigation; controlled drainage; subirrigation; non-point source pollution

收稿日期: 2014-08-12; **网络出版时间**: 2015-06-03
网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20150603.1017.008.html
基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(201101054)
作者简介: 金秋(1983—),男,江苏徐州人,工程师,博士(fengyuwuzujq@163.com),主要从事农田水利和水土保持研究.
徐姗姗(1983—),女,浙江绍兴人,工程师(623214738@qq.com),主要从事农田水利和水土保持研究.

近年来，随着工业化进程加快，大量从事传统农业的人口开始转向效益更高的其他产业，传统低效的农业发展模式已不能适应发展需要. 党的十八大报告提出，通过土地流转、成立农林专业合作社等方式，鼓励发展高效农业. 2013 年出台的中央一号文件也首次提出鼓励和支持承包土地向专业大户、家庭农场、农民合作社流转. 因此，加快发展规模化、智能化的高效现代农业成为中国农业发展的必然趋势. 当前农业生产方式和灌溉排水管理水平还无法适应农场化大规模种植的需要.

水稻是中国最重要的粮食作物，虽然其种植面积不足粮食作物种植总面积的 30%，但是产量接近粮食总产量的 40%[1]. 水稻又是需水量最大的粮食作物，因此水稻的节水灌溉研究一直是农业节水领域的重要课题. 目前，国内外学者对水稻的节水灌溉研究主要集中在水稻的灌溉模式上，如控制灌溉、非充分灌溉、调亏灌溉等多种农业高效灌溉方法[2-4]. 研究较多的高效灌排的设备如微灌、滴灌等节水灌溉设施并不适应水稻用水特点[5]. 因此，开发水田节水灌溉设备，根据水稻的需水规律精确控制水稻在不同生育期内的田间水位，可以减少灌溉的浪费，提高灌溉效率.

控制排水技术在国外 20 世纪 90 年代已有研究[6-7]，其主要技术是在田间排水系统的出口设置控制设施，通过控制设施来调节田间的水位，达到排水再利用、治理渍害和盐碱化、减少排水对承泄区的污染[8]. 近年来中国也对控制排水展开了大量的研究，通过研究与技术开发，目前已经开发出了简便实用的自动给水栓、水力自动闸门等田间控制排水的设备，提出了不同作物不同阶段的地下水位控制标准[9].

从中国水田灌排设施发展现状看，具有自动化效果的田间水位控制设备通常只具有单一的自动灌水或单一的自动排水功能，或者采用人工方式通过闸板控制田间水位，完成灌溉和排水 2 种功效[10-11]，同时实现自动控制灌排一体化一直是亟须解决的难题. 文中针对中国灌溉排水研究领域对节水灌溉、控制排水设施的迫切需求，提出一种水田灌排一体化系统的设计方案.

1　材料与方法

1.1　水田灌排一体化系统的设计

水田灌排一体化系统整个装置包括农田水位控制柜、水泵和输水管路[12]. 水位控制柜内部结构的示意图如图 1 所示. 水泵、农田中管路系统与水位控制柜的连接设置如图 2 所示.

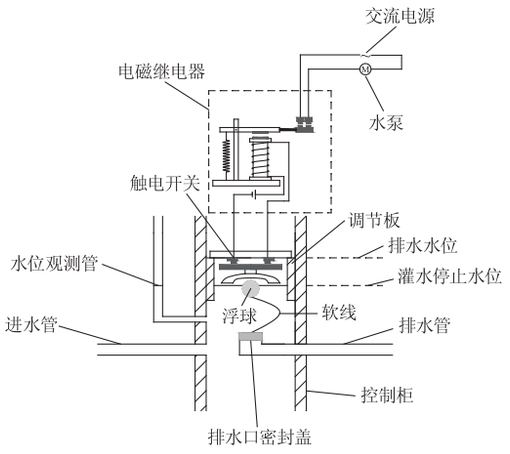


图 1　水位自动控制柜内部结构的示意图

Fig. 1　Diagram of internal structure of water table automation control cabinet

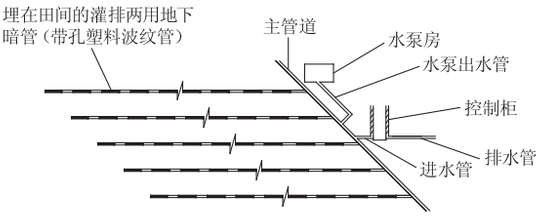


图 2　灌排一体化系统管道连接示意图

Fig. 2　Piping connection diagram of integration of irrigation and drainage system

在农田预埋灌排两用地下暗管（埋深为 0.8 m，间距为 10 m），暗管采用 PVC 打孔波纹管（管径 80 mm），为防止土壤细颗粒进入管道造成淤堵，增加管道周围的透水性，暗管周围包裹一层厚土工布，各波纹管与主管道相连. 控制柜固定在农田附近靠近排水沟渠一侧，水泵的出水管和控制柜的进水管均与主管道相连，控制柜的排水管直接通入沟渠. 当水泵灌水时，可直接将水通过主管道注入地下暗管，有效地减少了水资源的浪费. 控制柜中的电磁继电器通过导线与泵房中的水泵相连接，用于控制水泵的工作. 电磁继电器选用干电池供电，用低压直流电控制高压交流电的水泵，可以提高整个系统的安全性能.

水田灌排一体化系统运行之前，应根据水稻在不同生育期中对水田水位的要求，事先设置好灌水水位、停止灌溉水位、排水水位和停止排水水位. 灌水停止水位由固定在控制柜内壁上的调节板控制，调节板能够固定触点开关上半部分的最低位置，调

节板的高度越低,灌水停止水位越低. 排水水位由连接浮球与排水口密封盖的软线控制,线长为排水水位到排水口的距离,调节线的长度可改变排水水位,线越短排水水位越低. 触点开关由上下两部分组成,当水位低于灌水停止水位时,触点开关下边部分随浮球下降,电磁继电器的低压电路断开,水泵通过主管道自动向稻田灌水;当水位上升到灌水停止水位时,触点开关上下两部分接触,电磁继电器的低压电路接通,水泵自动停止灌水. 当遇到强降雨,水位高于排水水位时,浮球上浮,软线将排水口密封盖拉起,稻田中的水通过排水管自动排出;当水位低于排水水位时,排水口密封盖在自身重力和水的压强作用下能自动闭合封住管口,停止排水. 通过上述方式,水田灌排一体化系统准确地控制了田间水位,实现了水田的自动灌溉和排水.

1.2 试验方法

水田灌排一体化系统的应用研究选在南京市高淳县,结合淳东灌区较好的灌排条件,开展试验研究. 该试验示范区分成灌排一体化系统试验区(66 700 m^2,100 亩)和对照试验区(66 700 m^2,100 亩)2 个部分. 试验时间为2011 年5 月—10 月,在水稻的整个生育期对水田灌排一体化系统的应用进行试验研究.

1)通过充分利用灌溉水量和降雨量,减少灌溉的次数和单次用水量,使土壤水分得到充分利用,减少地表径流造成的浪费,减轻对水资源的需求压力.

2)根据水稻品种及其育秧、移栽、密度、植保、用肥、施农药等技术措施,在充分掌握水稻各生育期需水特性基础上,提出水稻各生育期地下水位控制标准.

3)水稻产量分别测定理论产量和实际产量,理论产量在收割前,用50 cm×50 cm 的铁框,每个测坑内随机取样,数出铁框内穗数、实瘪粒数,并计算出结实率,在每穴中随机选取1 000 粒实粒,计算其千粒质量及理论产量,实际产量在收割后晾晒并直接称重.

4)水质观测指标包括:总氮、铵态氮、硝态氮. 总氮采用过硫酸钾氧化紫外分光光度法测定,氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定,硝态氮采用紫外分光光度法测定.

通过室内试验、田间试验相结合,建立水稻生育期地下水位控制条件数据库,并综合运用统计学分析基本理论对数据资料进行定性和定量的分析研究,同时提出水稻自动灌排系统的设计方案,在实际应用中进行研究和改进.

2 结果与分析

2.1 田间水位设置

根据水稻生育期的需水规律,水田灌排一体化系统试验区返青期设置灌溉保持田面水层高度为10~30 mm 薄水层,排水水位为50 mm. 分蘖期、拔节孕穗期和灌浆期田面水层高度为0~40 mm 水层,排水水位为100 mm. 乳熟期灌溉保持田面水层高度为0~15 mm,排水水位为30 mm. 对照区采用当地水稻种植一般灌溉方式,以灌水上限、土壤水分和蓄水水位作为控制指标,调整田间水层高度和根层土壤水分,确定灌水时间和灌水定额. 水稻各生育期田面灌溉水位设置如表1 所示,表中 h_s 为开始灌溉水位,h_e 为停止灌溉水位,h_d 为排水水位,h_i 为灌溉上限水位,h_r 为蓄水水位,w 为土壤水分下限.

表1 2011 年水稻各生育期阶段灌溉设置的田面水层高度

Tab.1 Water table control indicators of paddy field in each growth period in 2011

	生育期	返青期	分蘖期	拔节孕穗期	灌浆期	乳熟期
试验区	h_s/mm	10	0	0	0	0
	h_e/mm	30	40	40	40	15
	h_d/mm	50	100	100	100	30
对照区	h_i/mm	20	10	20	30	20
	w/%	100	80	80	80	80
	h_r/mm	50	60	80	60	30

2.2 节水效果

水田灌排一体化系统将停止灌溉水位与排水水位分开,使灌溉仅仅满足农作物的一般需求. 如果遇到降雨,尽可能多地保存雨水,减少地表径流损失. 而排水水位的设置,是农田的警戒水位,如超出该水位会对水稻生长产生不利的影响,这时就需要进行排水.

在水稻的整个生育期,水田排灌一体化系统试验区设置水田灌排水位后共灌水16 次;对照区采用传统灌溉模式,共灌水次数9 次,试验区与对照区灌水量统计见表2 和图3. 表中 I 为灌水量,P 为降雨量,P_e 为有效降雨量,D 为排水量,ET 为耗水量.

表2 2011 年水稻灌排水量

Tab.2 Amount of water for irrigation and drainage by paddy field in 2011 mm

处理	I	P	P_e	D	ET
试验区	710	718.3	460.4	257.9	1 170.4
对照区	900	718.3	310.1	408.2	1 210.1

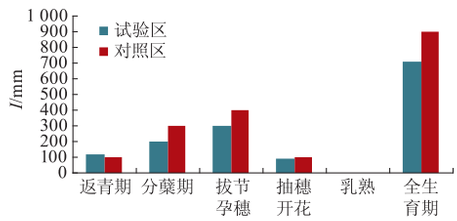


图 3　2011 年水稻生育期灌水量统计

Fig. 3　Quantity of irrigation in rice growth period in 2011

由表 2 和图 3 可以看出,2011 年水稻整个生育期内对照区的总灌水量约 900.0 mm、有效降雨量 310.1 mm;水田排灌一体化系统试验区灌水量约 710.0 mm、有效降雨量 460.4 mm. 试验区虽然灌水次数比对照区多 7 次,但是总灌水量比对照区减少了 190 mm,多利用降雨 150 mm,降雨利用率提高约 20%,减少灌水量约 21%.

2.3　增产效果

水田排灌一体化系统通过控制农田排水,在降雨情况下能更好地在土壤中保留农田氮,减少因地表径流和地下渗漏造成的流失,为植物生长提供充足的养分,从而达到增产的效果. 水田灌排一体化系统试验区和对照区水田作物的产量分析比较如表 3 所示,表中 n 为亩穗数,n_s 为实粒数,n_b 为瘪粒数,η 为空瘪率,m 为千粒质量,y_t 为理论亩产,y_a 为实际亩产.

表 3　2011 年水稻产量

Tab. 3　Rice yields in 2011

试验田块	n	每穗粒数		η/%	m/g	y_t/kg	y_a/kg
		n_s	n_b				
试验区	228 359	126	13	9.00	24	690.6	683
对照区	235 124	123	14	11.20	23	665.0	655

由表 3 可知,2011 年水田排灌一体化系统试验区水稻实际亩产平均达到 683 kg,与对照区相比,每亩平均增产约 28 kg,增产幅度达到 4.3%.

2.4　减污效果

2.4.1　农田排水水质监测结果

水稻田有一次相对较长的泡田过程. 因施入基肥,并且伴有一定的降雨过程,项目区产生地表径流. 在水稻田泡田过程中产生地表径流会引起面源污染. 这是一次重要的且比较典型的农业面源污染产生过程,进行该过程的观测研究对掌握农业面源污染情况及营养物质的迁移转化过程有着极其重要的作用. 从 2011 年 6 月 8 日发生降雨并产流后开始进行第一次水样观测,之后的采样时间分别为产流后 14.0,22.0,46.5,86.0 h. 试验区水样由水位控制装置的排水口采集,对照区的水样由农田地表径流排水采集. 水样监测结果见表 4.

表 4　施肥后典型降雨农田排水水质数据汇总

Tab. 4　Farmland drainage monitoring data collection after fertilization by rainfall process　　mg/L

监测指标	取样序号	试验区	对照区
ρ(TN)	1	2.12	23.30
	2	5.74	23.35
	3	19.30	23.35
	4	20.68	22.56
	5	10.23	23.11
$\rho(NH_3-N)$	1	1.53	20.72
	2	3.23	26.74
	3	23.00	23.66
	4	14.75	25.94
	5	7.75	22.34
$\rho(NO_3-N)$	1	0.64	1.95
	2	0.64	1.95
	3	0.64	1.95
	4	1.08	1.43
	5	0.18	0.16

注:表中取样序号 1 -5 取样时间分别为 2011 年 6 月 8 日 19:00;6 月 9 日 9:00;6 月 9 日 17:00;6 月 10 日 15:30;6 月 12 日 9:00.

2.4.2　效果分析

图 4 为试验区暗管排水和对照区地表排水的氮素的质量浓度,t 为取样时间间隔.

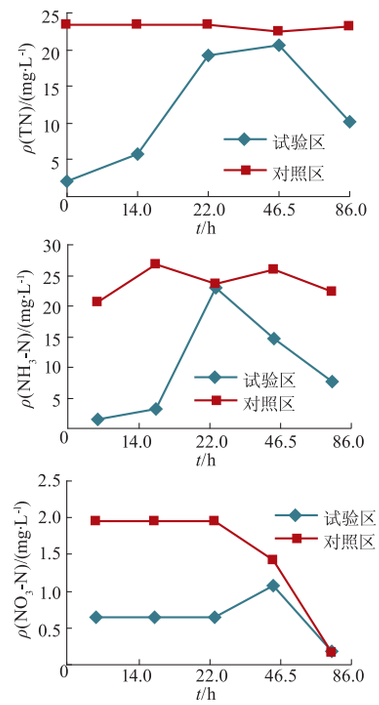


图 4　试验区暗管排水和对照区地表排水的氮素质量浓度

Fig. 4　Nitrogen concentration of drainage in test and contrast areas

由图 4 可以看出,试验区排水中的总氮、氨氮和硝氮的质量浓度均低于对照区排水中的氮素质量

浓度. 以总氮为例,对照区农田产流后,第1次取样测得总氮质量浓度为23.30 mg/L,之后4次取样地表径流中的氮素质量浓度始终处于较高水平,到86.0 h后第5次取样总氮质量浓度仍高达23.11 mg/L,总体下降趋势较缓. 而试验区排水水质受降雨的影响相对较小且有一定的滞后性,大约产流10.0 h后暗管排水中的氮素质量浓度开始上升,到22.0 h后取样浓度达到最大值20.68 mg/L,之后浓度再次开始下降,到86.0 h后第5次取样,总氮质量浓度下降到10.23 mg/L.

试验区通过暗管排水,氮素质量浓度随排水时间增加先增高再降低,说明在随水分下移的过程中氮素会被土壤截留,可以大幅减少农田中氮素的流失,提高肥料的利用效率. 同时暗管排水增加了稻田渗透量,使土壤的通气性处于良好状态,防止作物渍害,促进水稻的生长. 在田间补给水分的同时带进了氧气,有利于有机质分解产生无机质供植物吸收,保证了水稻需肥的要求.

3 结 论

水田灌排一体化系统解决了原有灌排设备无法同时实现灌溉和排水自动化控制的难题,该系统可以根据作物生长需求进行农田水位调节,同时控制水田灌溉水位和排水水位,使水位控制更加科学和准确,最大限度利用降雨,减少灌溉用水量,减轻水资源的需求压力. 系统设备结构简单,制作材料价格相对低廉,便于操作,容易推广应用.

2011年该系统在南京淳东灌区的应用和试验表明:

1)试验区总灌水量比对照区减少了190 mm,多利用降雨150 mm,降雨利用率提高约20%,减少灌水量约21%.

2)试验区水稻实收亩产平均达到683 kg,与对照区相比,每亩平均增产约28 kg,增产幅度达到4.3%.

3)通过控制排水,氮素会被土壤截留,可以大幅减少农田中氮素的流失,提高肥料的利用效率,减少农业面源污染.

目前设计的灌排一体化系统还没有与计算机控制对接,今后可开发计算机软件对该系统进行在线控制,从而为采用中央自动监控系统的大规模灌排工程创造基础条件,具有很大的技术融合及拓展的空间.

参考文献(References)

[1] 俞双恩. 以农田水位为调控指标的水稻田间灌排理论研究[D]. 南京:河海大学水利水电学院,2008.

[2] 蔡守华,张展羽. 节水灌溉发展现状与管理模式研究综述[J]. 水利经济,2007,25(4):38-40.
Cai Shouhua, Zhang Zhanyu. Water-saving irrigation management status in quo and modes[J]. Water Economics, 2007, 25(4): 38-40. (in Chinese)

[3] Allred B. Innovative irrigation system implemented[J]. Nonpoint Source News-Notes, 2000: 20-23.

[4] Baker B J, Allred B J, Luckeydoo L M, et al. Ohio wetland reservoir subirrigation system (WRSIS) preliminary results[C]//Proceedings of the 8th International Drainage Symposium, 2004: 89-98.

[5] 金宏智,李光永. 国外节水灌溉技术与设备的发展趋势[J]. 节水灌溉,2004(3): 46-48.
Jin Hongzhi, Li Guangyong. The development tendency of water-saving irrigation technique and devices overseas [J]. Water Saving Irrigation, 2004 (3): 46-48. (in Chinese)

[6] Allred Barry J, Brown Larry C, Fausey, et al. Water table management to enhance crop yields in a wetland reservoir subirrigation system [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003, 19(4): 407-421.

[7] Devos J A, Van bakel P J. Waterpas-mode: A predictive tool for water management, agriculture, and environment [J]. Agricultural Water Management, 2006, 86: 187-195.

[8] 张展羽,陈晶晶,张文祥,等. 农业小流域"田-沟"系统氮素时空变化分析[J]. 排灌机械工程学报,2013,31(1): 61-65.
Zhang Zhanyu, Chen Jingjing, Zhang Wenxiang, et al. Analysis of temporal and spatial variation of nitrogen in field ditch system of small agricultural watershed[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2013, 31(1): 61-65. (in Chinese)

[9] Shao Xiaohou, Jin Qiu, Hu Xiujun, et al. Preliminary study of the WRSIS concept at the paddy-upland crops rotation area in southern China[C]//ASABE 9th International Drainage Symposium, 2010:640-649.

[10] 俞双恩,丁继辉,蒋元勋,等. 一种田间排水控制系统:中国,101660305A[P]. 2010-03-03.

[11] 蔡焕杰,陈新民,胡若愚,等. 调压式作物根区水肥灌溉控制系统:中国,010103695A[P]. 2008-01-16.

[12] 金秋,邵孝侯,谈俊益,等. 水田灌溉排水自动控制装置:中国,102172202A[P]. 2013-09-25.

(责任编辑 徐云峰)