

灌溉 - 排水 - 湿地综合管理系统的 引进和改造应用

董 斌¹, 茆 智¹, 李新建², 王建漳³, 郑传举³

(1. 水资源与水电工程国家重点实验室 武汉大学, 武汉 430072; 2. 广西灌溉中心试验站, 广西 桂林 541100;
3. 湖北漳河工程管理局, 湖北 荆门 448156)

摘 要: 由于过量施用化肥、农药以及未经无害化、资源化处理的畜禽排泄物大量进入农田, 导致我国严重的农田面源污染。而这种污染, 在水稻灌区传统的灌排模式下, 农田排水的水质污染问题日益严重。传统的灌溉排水系统只注重水量方面的问题, 即旱能灌, 涝能排, 没有考虑水质改善方面的需求。如何通过对现有灌溉排水系统的改造来实现农田排水水质净化的目的具有非常重要的现实意义。借鉴由美国俄亥俄州立大学的研究人员开发的灌溉 - 排水 - 湿地综合管理系统(WRSIS)的理念和思路, 结合我国南方平原和浅丘陵地区水稻灌区灌溉排水系统的特点, 分别在广西青狮潭灌区以改造农田洼地为人工湿地为主, 在湖北漳河灌区以开发现有灌溉塘堰的净化水质能力为主来开展相关田间试验。试验结果表明, 改进的 WRSIS 系统可显著地降低稻田排水中总氮、总磷的含量, 实现控制和减少农田面源污染, 达到修复农田水环境的目的。

关键词: 水稻; 农业面源污染; 水质; 塘堰; 人工湿地

中图分类号: **文献标识码:** A

Introduction, Adaptation and Application of Wetland Reservoir Subirrigation System in Rice-based Irrigation Systems of South China

DONG Bin¹, MAO Zhi¹, LI Xin-jian², WANG Jian-zhang³, ZHENG Chuan-ju³

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. Guangxi Center Station of Irrigation and Drainage Experiment, Guilin 541100, Guangxi Zhuang Autonomou Region, China;
3. Zhanghe Water Project Administration in Hubei Province, Jingmen 448156, Hubei Province, China)

Abstract: For the current irrigation and drainage systems in China, the original purposes are focused on water quantity issues more than water quality, i. e. irrigation water can be supplied during the outbreak of droughts and excessive water can be drained during the outbreak of flooding and waterlogging. However, the agricultural non-point source pollution (ANSP) are becoming more and more serious, especially in rice-based irrigation systems because of the traditional practices of flooding irrigation and excessive fertilizer application. Therefore, it is of great importance to alleviate ANSP and achieve sustainable development of agriculture through the appropriate transformation of current irrigation and drainage systems. Using the concept and idea of Wetland Reservoir Sub-Irrigation System (WRSIS) developed by researchers of Ohio State University for reference, combining the actual conditions of rice-based irrigation systems in plains and hilly areas in South China, this paper is an attempt to do research on Qingshitan Irrigation System, Guangxi and Zhanghe Irrigation System in Hubei as the sites for cleaning drainage water from paddy fields through constructed wetland and irrigation pond.

Key words: rice; agricultural nonpoint source pollution; water quality; pond; constructed wetland

收稿日期: 2009-09-01

基金项目: 引进国际先进农业科学技术(“948”计划)水利项目(第 200720 号)(题目: 灌溉 - 排水 - 湿地综合管理系统(WRSIS)的引进)部分研究成果。

作者简介: 董 斌(1969-), 男, 副教授, 主要从事节水灌溉和农田水环境修复的研究。

1 引进灌溉 - 排水 - 湿地综合管理系统 (WRSIS)的背景

中国是世界上最大的水稻生产大国^[1], 但水稻的生产方式存在不足, 一是施肥量大、肥料利用率低, 如季氮肥利用率仅为 30% ~ 50%^[2], 当季磷肥的利用率更低, 只有 5% ~ 15%, 加上后效一般也不超过 25%^[3]; 二是灌水量大、灌水方式不合理, 大

部分水稻灌区仍然是采用传统的淹灌技术,田间水层较深,加大了地表径流和渗漏。有资料表明:单位面积稻田由于渗漏和径流所产生的氮、磷负荷量是旱地的4倍多,如在稻田面积所占比例较大的太湖流域,通过农田进入太湖的氮素占入湖总氮量的72%~78%,是造成太湖富营养化的主要原因^[4]。

在面源污染物中,来自灌区的面源污染占了很大一部分,农田排水中氮、磷是诱发水体富营养化的关键因素^[5]。我国太湖、滇池等湖泊的富营养化都与灌区非点源污染有关。在湖泊富营养化中,肥料(包括有机肥)通过地表径流进入湖水中的氮占入湖总氮量的10%左右;由肥料流失的磷占入湖总磷量的4%~10%,其中有机肥占3%~7%,化肥占1%~3%^[6]。农业面源污染不同于点源污染,其在空间和时间上具有不确定性,控制起来比点源污染难。

要控制和减轻由农业面源污染而造成的水环境恶化,逐步改善农田水环境质量,除了指导农民合理耕作、合理施肥与合理灌排以外,还须采取合适的水环境修复措施。国内目前采用的水环境修复措施主要集中在重要的湖泊治理,或生活、工业污水的处理方面。对于大量的农业面源水体污染则很少有效果好而成本低的技术研究成果。因此,通过引进、吸收和消化国外治理经验和先进技术,特别是能结合现有灌排设施,以水利措施为主的水环境修复技术,来应对我国当前所面临的农业面源污染问题具有非常重要的现实意义。

2 灌溉 - 排水 - 湿地综合管理系统的引进及其改造设计方法

灌溉 - 排水 - 湿地综合管理系统(Wet land-Reservoir-Subirrigation System, WRSIS)是基于控制排水,将农田、人工湿地和蓄水设施相结合,并通过一定的灌溉排水设施将三者联结为一个有机的整体^[7],其系统框架如图1所示。该系统的工作原理是田间沟、管收集农田排水输送至湿地,然后利用湿地中的土壤吸附、植物吸收、生物降解等作用来降低农田排水中氮、磷化合物的含量,经过湿地净化后的水再输送到塘堰存储,农田需要灌溉时,再由灌溉设施供水到田间^[8]。

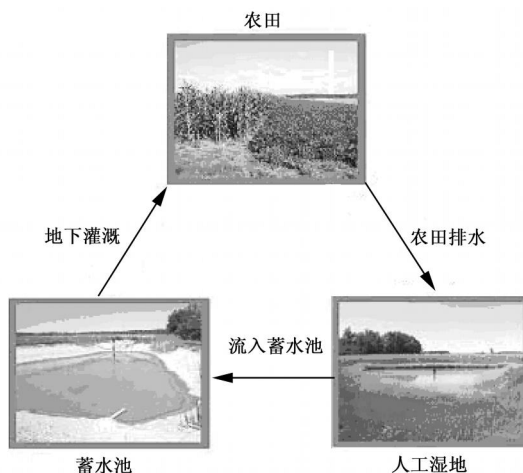


图1 WRSIS系统示意图

WRSIS系统是在美国旱作地区以地下暗管排水为基础开发出来的,如若要引进到我国南方水稻灌区,面临着诸多的技

术问题需要解决。结合水利部“948”项目实施2年(2007-2008年)以来在消化、吸收和改进WRSIS系统方面的经验,提出WRSIS系统在我国南方水稻灌区应用的改造方案和设计方法。

(1)灌溉排水方式的变化:将美国的以暗管排水和地下灌溉为主体的技术方案,改造为中国以明沟灌排为主体的技术方案。

(2)人工湿地的修建和与灌排系统的联结:修建人工湿地需要占用土地,面对我国人多地少的现状,应当首先利用废弃耕地或洼地以及现有的灌排设施(如沟渠、塘堰)来建造人工湿地为原则。修建的人工湿地应与地表排水系统中的排水沟末端相连,收集地表径流和农田排水,同时处理后的排水易于进入灌溉渠道重新用于灌溉。

(3)人工湿地面积的确定:湿地面积的大小主要由稻田排水量和水质决定。目前普遍使用“ $K_A - C^*$ ”模型来初步估算湿地面积^[9],但由于稻田排水受田间水肥管理方式、气象条件等因素影响,且排水产生的随机性,因此按照稻田排水标准采用“平均排除法”和“降雨 - 排水”相关关系法分别计算排水量^[10-11],取两者中的较大值作为设计排水流量,然后结合同期的水质指标最终确定湿地面积。

(4)人工湿地的结构设计:利用废弃耕地或洼地来修建人工湿地可参考有关湿地设计的书籍和文献来完成^[12-15],但对于通过对现有灌排设施(如塘堰)的改造来构建人工湿地存在不少的困难:一方面塘堰的基本功能是蓄水灌溉,而与水质净化功能之间有时存在矛盾(水位调控、水生植物耗水等);另一方面大部分塘堰在进出水结构和形状上不符合人工湿地的水流要求,水流分布不均匀,时常出现“水力短路”现象。因此,对于此类人工湿地的构建应主要从改造进出水结构、改进水流分布以及控制水深着手,达到优化水力条件,提高净化效果的目的。

(5)人工湿地植物的选择:选择适宜当地生长的植物或天然湿地原存的优势物种为原则,优先选择根系发达、茎叶茂密和生物量大的物种。通过对广西青狮潭灌区和湖北漳河灌区的实地调查,主要的湿地植物有菖蒲、芦苇、茭白和水花生,这些应当成为构建人工湿地时植物的首选,同时可根据需要选取荷花、睡莲、风车草等。

3 WRSIS系统在水稻灌区的改造应用和效果

根据我国南方水稻灌区气象、地形、灌排系统以及水稻种植方式等的不同,分别选取广西青狮潭灌区和湖北漳河灌区开展WRSIS系统的引进和应用试验。

青狮潭灌区位于广西北部桂林市,属亚热带季风气候,多年平均降雨量为1700mm,是水稻和蔬菜的高产区,每年种早晚两季水稻。灌区地势较为平坦,渠道供水充分,小型蓄水工程少。因此,在青狮潭灌区以改造农田洼地、废弃耕地为人工湿地地开展相关田间试验。

漳河灌区位于湖北省西北部,属亚热带大陆性季风气候区,多年平均雨量为970mm,主要种植的作物有一季中稻、小麦、油菜和棉花等旱作物。灌区地处从山区向平原过渡的丘陵地区,结合地形和降雨径流的特点,当地修建了大量的塘堰蓄

水工程。这些小型蓄水工程一方面可以削减骨干水库的供水量,另一方面还可以拦蓄地表径流和稻田排水用于灌溉。因此在湖北漳河灌区以开发现有灌溉塘堰的净化水质能力来开展相关田间试验。

3.1 试验区与田间试验

青狮潭灌区试验点位于灌区西干渠秧塘支渠灌溉范围内,面积大约 0.8 hm²,由 14 块大小不一的稻田组成(见图 2)。整片稻田南高北低,灌水排水共用一条渠道。图中田块 40 号地势最低,长期淹水,已经被荒弃。在这里将之改造成人工湿地(见图 3)。为了便于开展试验研究,在所选稻田一侧修建了临时排水沟,稻田排水都先流入临时排水沟最终流入该湿地。湿地的面积为 0.04 hm²,进口与农田排水沟相连,出口与一根暗管相连,进出口处分别安装有三角堰,量测进出湿地水量,同时出口的三角堰还具有控制湿地水位的作用。

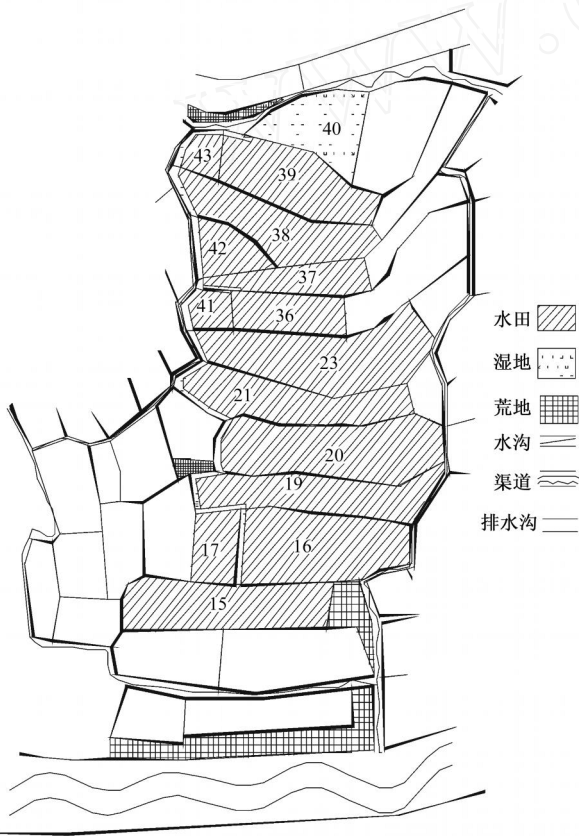


图 2 青狮潭灌区试验区示意图

漳河灌区试验区位于灌区三千渠一分干灌溉范围内,面积为 11.80 hm² 的封闭区,其中水稻田、旱田和塘堰所占比例分别为 68 %、11 %和 8.8 %。试验区内地势有起伏,东西高中间低,北高南低,水流的主要运动方向是从北向南流,平均高程为 96m,最大高程差约为 4m(见图 4)。试验区内所有的进水口和出水口均设有量水堰,每日两次定时观测量水堰的水位用于计算试验区的进水量。为了解塘堰净化农田排水水质的潜力,在试验区内选取 9 号塘堰为对象(见图 1)。该塘堰表面积为 2 300 m²,塘内长有菖蒲、芦苇、茭草等水生植物。塘堰有 1 个进水口和 2 个出水口均设置量水堰,定时观测量水堰的水位,计算塘堰进水量。

在水稻生长季节(青狮潭灌区早、晚稻、漳河灌区中稻),依

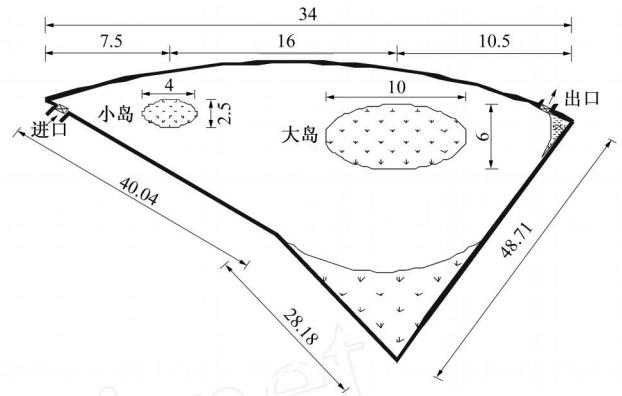


图 3 青狮潭灌区人工湿地平面布置图(单位:m)

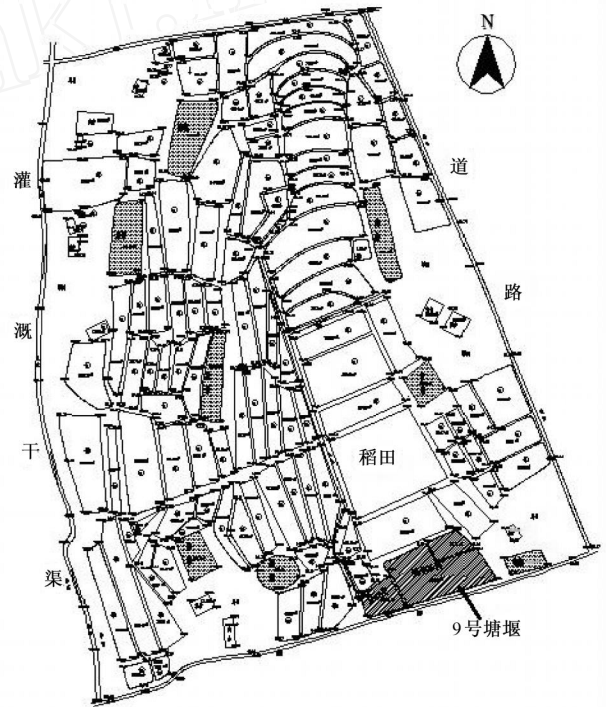


图 4 漳河灌区试验区示意图

据划分的水稻生育期(返青期、分蘖期、抽穗期、乳熟期、黄熟期)对进出人工湿地和 9 号塘堰的水流提取水样进行水质分析。水样的采集与保存按照《水和废水检测分析方法》^[16] 的相关要求进行。水质分析指标主要有总氮(TN)和总磷(TP),所使用的分析方法:总氮的测定为碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法、总磷的测定为钼酸铵分光光度法^[16]。

3.2 改造的 WRSIS 减污效果

根据青狮潭灌区早稻(4 - 7 月)、晚稻(7 - 10 月)和漳河灌区中稻(5 - 9 月)期间不同生育期进出人工湿地和 9 号塘堰的水质分析结果,并结合不同生育期内的降雨量、蒸发量等数据初步计算了 TN、TP 的去除率(见表 1)。

表 1 中的数据表明,稻田排水水质较差,主要生育期排水中 TN、TP 含量超出了地表水 V 类水质量标准^[17],特别是在晚稻分蘖期追肥后导致的排水中 TN、TP 含量最高(分别达到 78.9 mg/L 和 5.05 mg/L),水质最差。如若未经处理的稻田排水流入河湖,将会对受纳水体水质产生不良影响,甚至会导致富营养化的发生。因此,净化稻田排水水质是有必要的。

表 1 人工湿地和塘堰(9号)进出口水质分析结果 mg/L

灌区名称	青狮潭灌区(人工湿地)				漳河灌区(塘堰)	
	早稻(2007年)		晚稻(2007年)		中稻(2008年)	
水稻生育期	TN	TP	TN	TP	TN	TP
地表水入流	5.40	0.45	2.60	2.69	0.788	1.660
返青期 地表水出流	4.40	0.40	2.10	3.15	0.419	1.561
去除率/ %	18.5	11.1	19.2	- 17.1 *	46.8	6.0
地表水入流	13.10	1.44	78.90	5.05	2.563	0.354
分蘖期 地表水出流	9.00	1.46	2.30	0.98	1.143	0.139
去除率/ %	31.3	- 1.4 *	97.1	80.6	55.4	60.7
拔节 地表水入流	5.20	1.06	3.20	1.14	1.550	0.172
抽穗期 地表水出流	2.20	1.19	0.7	0.80	1.443	0.127
去除率/ %	57.7	- 12.3 *	78.1	29.8	6.9	26.2
地表水入流	2.60	1.03	0.40	0.58	0.680	1.187
乳熟期 地表水出流	0.50	1.08	0.40	0.47	0.777	3.965
去除率/ %	80.8	- 4.9 *	0.0	19.0	- 14.3 *	- 234.0 *
地表水入流	1.00	0.40	6.50	1.44	1.920	0.236
黄熟期 地表水出流	0.80	0.25	1.10	0.80	2.470	0.834
去除率/ %	20.0	37.5	83.1	44.4	- 28.6 *	- 253.4 *

* 表示出流浓度增加。

青狮潭灌区早晚稻田排水时间、排水量和排水中 N、P 含量与该地区的降雨分布以及田间水肥管理方式相关程度高,如排水中 N、P 含量高的时期主要在返青、分蘖期,而农民也常常在这两个时期追肥。早稻生育期(4 - 7月)降雨频繁,雨量较大,导致稻田排水较多,但排水中 N、P 浓度相对于晚稻而言不高,这是因为晚稻生育期(7 - 10月)降雨少,稻田排水也较少,但由于累积效应会导致单次排水中 N、P 浓度值较高。水质分析结果表明,试验区的人工湿地对早、晚稻不同生育期稻田排水中总氮的去除效果好,特别是在湿地植物生长旺盛时期(6 - 9月)去除的效率,但对排水中总磷的去除效果没有预计的好,如在早稻划分的5个生育期中有3个出现人工湿地出水含磷量高于进水。可能的原因有: 湿地对磷的去除主要是吸附和沉积作用,不同于氮的去除主要是植物吸收; 排水中磷的流失形态分为颗粒态磷和溶解态磷,且其受降雨的影响大; 早稻期间降雨多,排水频繁而晚稻降雨少,排水次数少且排水间隔时间长,这些均有利于对磷的去除。

漳河灌区试验区的水质数据(见表1)表明在水稻生长的前三个生育期,塘堰进口各水质指标的浓度值均大于出口浓度值,农田排水经过塘堰后水质得到了明显改善,原因是在此期间塘堰内的水生植物茂密、生长旺盛、吸收 N、P 的能力强,能较好地净化稻田排水水质;但到了后两个时期,进口处各浓度值小于出口浓度值,说明农田排水流经9#塘堰后,水质不仅没有被净化反而受到污染。主要原因是该塘堰近几年没有收割塘堰内生长的植物也没有清淤,导致底泥腐殖质含量高,农田排水流经该塘堰后水质变差,塘堰成为二次污染源。另乳熟期提取水样时恰逢暴雨(8月15日降雨114.9mm),稻田排水量大,塘堰底泥中沉淀下来的固体磷营养物质被搅动后随出流一

起排出,故 TP 出口处的浓度明显大于进出口处的。

根据水量平衡计算结果和实测进出水水质指标,水稻生育期人工湿地和典型塘堰进出口处总氮、总磷指标值及净化效果如表2所示。

表 2 水稻生育期人工湿地和9号塘堰进出口氮、磷指标总量值及净化效果

灌区名称	青狮潭灌区(2007年)				漳河灌区(2008年)	
	早稻		晚稻		中稻	
水质指标	TN	TP	TN	TP	TN	TP
进口处总量/ kg	6.148	0.847	0.370	0.175	74.685	18.454
出口处总量/ kg	4.050	0.613	0.080	0.105	36.648	18.023
去处效率/ %	34.1	27.7	78.3	40.0	50.9	2.3

表2数据表明在青狮潭灌区,人工湿地能较好地净化稻田排水,使早稻、晚稻排水中 TN、TP 的含量分别减少 34.1%、27.7%和 78.3%、40.0%。早、晚稻处理效果产生差异的原因主要是由于早稻生育期降雨量大且频繁,导致农田排水次数多,超过人工湿地蓄水容量和处理能力,而晚稻排水少,人工湿地能比较充分地蓄积和处理排水。

漳河灌区田间试验数据表明,在整个水稻生育期中,稻田排水经过塘堰后相关指标 TN、TP 的含量均有减少,说明塘堰对农田排水可处理农田排水,有净化功能,去除率分别为: 50.9%和 2.3%。TP 的去除效果欠佳,主要原因是由于乳熟期的强降雨导致塘堰底泥中沉淀下来的固体磷营养物质随出流排出所致。

4 讨论与结语

(1)我国是一个农业大国,化肥施用量大、肥料利用率低、氮磷流失严重,由农业面源污染引起的环境问题也越来越受到关注。太湖蓝藻的爆发、滇池的富营养化等一系列水环境问题都与农业非点源污染有关。而对农业非点源污染的治理力度一直不够,主要是由于缺乏有效的治理办法。农业面源污染分布较广,在时间空间上变异性较大,处理起来有一定难度。借助俄亥俄州立大学研发“WRSIS 系统”的理念和方法,结合我国水稻灌区的基本情况,以及治理农业面源污染的紧迫性,在我国南方水稻灌区引进、改造并应用“WRSIS 系统”是可行的。

(2)从以上的研究中可以看出,改造后的 WRSIS 系统对农田排水中总氮总磷的去除效果均比较明显,而 WRSIS 中的人工湿地(含塘堰)作为一种后处理方式,适合应用于我国的水稻灌区。首先,稻田氮、磷主要通过地表排水而流失;其次,水稻灌区面源污染受降雨影响在时间空间上分布不均匀,在湿润季节地表径流量较大且较为集中,干旱季节则较少,人工湿地处理污染物不受时间的影响时刻都在进行,能够适应农田排水在时间和空间上的变化;第三,我国南方灌区有众多的小型塘堰,这些塘堰大都与灌区中的灌排系统连接在一起,通过塘堰改造便可成为塘堰湿地,排水通过排水沟直接进入塘堰湿地,一方面可以实现水质净化,另一方面还可以调蓄径流。

(3)水稻灌区面源污染受气候、降雨、水肥管理方式以及地形地貌等众多因素的影响,在时间和空间分布 (下转第 15 页)

道环境管理,协同新农村建设管理部门,十分强调在渠道景观范围内,特别是在渠道迎水侧已被圈定的绿化植被范围内,禁止设置垃圾箱。建议村民管理委员会采取上门收或定点送的办法,加强垃圾管理。这对于渠道环境管理非常重要。否则,处处沿渠水边设置垃圾箱,垃圾成堆后腐蚀霉变的物品易产生黄曲霉素,这种毒素流入渠道中,既破坏水渠环境使生态失去平衡,又将给人们饮水以及淘米洗菜带来危害,重者将直接影响人生安全。因此,禁止在渠边设置垃圾箱,既是环境美观的需要,也是亲水保健康的需要。

3.3 利用水力原理集中调处水上漂浮物

灌区渠道除了境内可能产生一些漂浮外,多数则是上级水源渠道漂流而至。水浮植物、白色废物、死禽死畜等等经常由上而下到处漂流,常常使渠道中水工建筑物上游堆积如山,臭气冲天。由于渠道中的倒吸虹、节制闸等建筑物众多,处处设置打捞站,点多量大,很不现实。为了改变闸上洞上杂物漂积、臭气熏人的恶杂状况,特别是渠道路径的小城镇中心镇等处,灌区在节水改造中,对于节制闸,则改变两侧翼墙角度(使其与闸门中心轴线夹角 $\leq 45^\circ$),对于倒虹吸,则改变洞口高度(使洞

口高于正常灌溉水位),利用因过闸的水流压差而产生的吸力之原理,使渠中各道建筑物上游垃圾统一吸走流至渠道尾部,实行集中打捞处置。实践证明,被采取上述措施的建筑物,很好地解决了漂浮物滞留难捞的问题。

3.4 分段定人承包管理渠道环境

渠道改造花费的是大投入,但维护改造后的生态环境,则是长期的资金与精力的投入。近年来,扬州市大型灌区十分重视节水改造后的渠道环境管理,采取平均每1000m聘一人进行承包管理。确保渠道所圈定的范围内达到:无违章设施产生,无垃圾杂物堆放,无建筑物与绿化被破坏等目标。管理费用来源一是在水费收入中提取;二是在工程岁修中提成;三是在渠堤绿化经营收入中解决。通过目标化定责、市场化聘用、契约化管理,把渠道环境管理工作落到实处。

几年来,通过上述措施与实践,扬州市大型灌区节水改造,在生态问题上取得了显著的效益与效果。目前,所改造的工程到处呈现出绿色、科技、人文的气习。景观靓丽,鸟语花香,环境宜人,使人心旷神怡。灌区节水改造的生态景观效应,已经成为新农村建设的一道风景与光辉典范。□

(上接第12页)上随机性大,给人工湿地的设计、运行和管理带来了很大的不确定性,这些不确定性增加了在我国南方水稻灌区应用“WRSIS系统”的难度。因此,一方面要借鉴城市人工湿地设计、管理的经验和方法,另一方面要针对农业面源污染具有面广、量大、分散、间歇峰值和高无机沉淀物负荷的特点,提出了农业面源污染人工湿地的设计方法和运行管理模式。□

参考文献:

- [1] FAO. FAOSTAT Database. 4 February 2004 (FAO last update). FAO, Rome, Italy. <http://apps.fao.org>.
- [2] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1 - 6.
- [3] 王庆仁, 李继云. 论合理施肥与土壤环境的可持续性发展[J]. 环境科学进展, 1999, 7(2): 116 - 123.
- [4] 张振克. 太湖流域水环境成因与对策[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(1): 81 - 87.
- [5] 何 萍, 王家骥. 非点源(NPS)污染控制与管理研究的现状、困境与挑战[J]. 农业环境保护, 1999, 18(5): 234 - 237.
- [6] 吕家珑. 农田土壤磷素淋溶及其预测[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2689 - 2701.
- [7] Allred B.J., L.C. Brown, N.R. Fausey, R.L. Cooper, W.B. Clevenger, G.L. Prill, G.A. LaBarge, C. Thorton, D.T. Ri-

ethman, P.W. Chester, B.J. Czartoski. 2003. Water table management to enhance crop yields in a wetland reservoir subirrigation system. ASAE 19(4): 407 - 421.

- [8] 单真莹, 董 斌, 李新建, 等. 水稻灌区非点源污染治理新方法初探[J]. 中国农村水利水电, 2008(3): 62 - 65.
- [9] Kadlec R.H., R.L. Knight. Treatment Wetlands[M]. CRC/Lewis Press, Boca Raton, FL. 1996.
- [10] 郭元裕. 农田水利学(第3版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [11] GB50288-99, 灌溉排水工程设计规范.
- [12] Mitsch W.J., Jorgensen S.E. Ecological Engineering and Ecosystem Restoration. [M]. John Wiley and Sons, Inc., New Jersey. 2004.
- [13] U.S. EPA. Guiding principles for constructed treatment wetlands: providing for water quality and wildlife habit. [M]. Washington DC: U.S. EPA, Office of Wetlands, Oceans and Watersheds. 2000.
- [14] 崔保山. 湿地学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2006.
- [15] 尹 军, 崔玉波. 人工湿地污水处理技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [16] 国家环境保护总局. 水和废水检测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [17] GB3838-2002, 地表水环境质量标准.

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告