

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2010.01.021

一种新型的现代小型农田水利工程介绍

王修贵 魏小华

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室 湖北 武汉 430072)

摘要 :为了有效地解决农业面源污染控制这一世界性的难题 ,美国俄亥俄州立大学(OSU)将控制排水、地下灌溉系统和水塘、湿地通过地下管道和抽水泵站连接起来 ,形成了一种灌溉、排水、湿地净化、排水再利用的小型农田水利工程 ,可有效地提高水资源利用效率和控制农业面源污染。该系统主要应用于旱作区 ,由于投入较高 ,在我国可用于温室大棚 ;对于水稻地区 ,则需要研究改进。

关键词 :WRSIS ;农业面源污染 ;灌溉 ;排水 ;农田水利

中图分类号 :S27 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2010)01-0091-04

Introduction of a kind of modern small irrigation and drainage engineering//WANG Xiu-gui , WEI Xiao-hua(*State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower , Wuhan University , Wuhan 430072 China*)

Abstract : Agricultural non-point source pollution is a worldwide problem. To solve this problem , Ohio State University(OSU) in the USA combines controlled drainage , irrigation systems , and ponds and wetlands through an underground pipeline and water pump. A kind of modern small irrigation and drainage system , including irrigation , drainage , wetland purification and drainage water reuse , is formed. This system can raise the water resource efficiency and control agricultural non-point source pollution. It is mainly applied in dry crop areas. Because of its higher cost , it may be used in greenhouses in China , and needs to be improved for paddy fields.

Key words : WRSIS ; agricultural non-point source pollution ; irrigation ; drainage ; water conservancy of agriculture land

农业面源污染是一个世界性问题。据美国环保局 2003 年的调查结果显示 ,农业面源污染是美国河流和湖泊污染的第一大污染源 ,导致约 40% 的河流和湖泊水体水质不合格 ,同时是造成河口以及地下水污染的主要因素^[1]。由于农业活动的广泛性和普遍性 ,农业面源污染发生的随机性和排放、运移的不确定性等特点 ,使得对其进行有效控制较点源污染更为困难。

为有效地解决农业面源污染问题 ,美国俄亥俄州立大学(OSU)等单位研制的“ 湿地-水塘-地下灌溉排水系统 ”^[2-4]为以水利措施为主要手段控制农业面源污染提供了有益的参考。

1 WRSIS 及其组成部分

为了解决农田排水造成的非点源污染问题 ,美国俄亥俄州立大学从 1990 年代开始 ,将湿地、水塘、地下灌溉排水系统三者相结合 ,并通过一定的水利灌排设施将三者联结为一个有机的整体(wetland reservoir sub-irrigation system) ,简称 WRSIS(见图 1)。

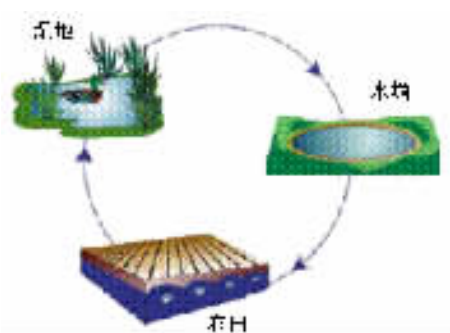


图 1 WRSIS 系统组成^[5]

近几年 ,在美国农业部的支持下 ,该系统在美国中北部以排水为主的几个州得到了推广应用^[2-5] ,平均投资约 8200 美元/hm² ,玉米和大豆在旱季平均增产幅度为 34.5% 和 38.1% ,雨季平均增产幅度为 14.4% 和 9.7% ,减少了 28% 的氮素流失^[2] ;同时 ,蜻蜓的数量和种类增加。表明该系统具有减少农田污染物质排放 ,提高灌溉保证率、水分利用率和作物产量以及保护与修复生态系统功能的作用。

该系统由 4 部分组成 :水源(reservoir ,水塘)、灌

溉排水系统(sub-irrigation ,地下灌溉 ,也兼顾有控制排水的功能)、水质处理系统(wetland ,湿地)以及附属设施。

1.1 水源

水源(reservoir ,水塘)主要承接来自经过湿地净化后的农田地面和地下排水 ,并向农田提供灌溉水源。从美国现场考察来看 ,水塘的水面面积为 $0.2 \sim 1.0 \text{ hm}^2$,容积为 $2\,000 \sim 10\,000 \text{ m}^3$,控制灌溉面积 $3 \sim 12 \text{ hm}^2$,灌溉区农田种植的农作物为大豆、玉米等旱作物 ,水塘基本可以满足灌溉用水的要求。水塘除了作为灌溉水源之外 ,还同时作为排水出路 ,即水塘灌溉区域内的地下排水排到湿地 ,经湿地净化后再抽排到水塘供灌溉之用。由于地下灌溉和地下排水采用相同的地下管道系统 ,因此 ,承接的地下排水面积与灌溉面积相同。但由于地下管道并没有延伸到水塘的上游 ,因此 ,水塘承接的地面排水面积要大于灌溉面积。从笔者考察和收集到的 3 个示范区的资料来看 ,地面排水面积在 $16 \sim 30 \text{ hm}^2$ 之间 ,一般在地下排水面积的 1 倍以上 ,有 1 处为地面排水面积的 9 倍 ,见表 1。从美国的实地考察来看 ,由于俄亥俄州降雨比较丰富且分布均匀(年均降雨量 948 mm ,多年平均每月降雨天数在 10 d 左右)。故这样的水塘基本能满足补充灌溉的需要。

表 1 美国俄亥俄州 WRSIS 示范基地概况^[2]

地区	湿地面积/ hm^2	灌溉面积/ hm^2	地表排水 面积/ hm^2	建设费用/ 美元
弗尔登(Fulton)县	0.607	8.09	16.59	447 00
分沃特(Van Wert)县	1.021	12.14	20.23	601 00
德菲拉斯(Defiance)县	0.102	3.1	28.2	863 00

注 3 个示范区的建设年份均为 1996 年 ,表层土质均以黏土为主 ,夹杂淤泥和壤土。

需要说明的是 ,由于水塘同时兼作水源和排水的出路 ,水塘和湿地一起还担当了调节地面径流、削减洪峰、保持水资源、补充地下水源等功能。除了减轻干旱危害之外 ,具有防洪、维持良好的区域水土条件、改善生态环境的功能。

1.2 灌溉排水系统

WRSIS 系统中的灌溉排水系统是由地下暗管、暗管的出口控制设施所组成。地下暗管为透水的塑料波纹管外包晴纶纤维作为滤料 ,暗管分为干管和支管。支管直接担负田间灌溉排水的任务 ,当田间地下水位高于暗管出口控制高程时 ,田间的地下水直接渗入支管 ,并通过干管输送到湿地。当田间地下水位低于一定的深度以至于田间需要灌溉时 ,水泵自动控制设施将从水源地抽水向管道输水 ,支管中充满有压水 ,向土壤渗水 ,补充田间水量的不足。因此 ,支管在田间缺水时向土壤灌水(渗水) ,在田间

水分过多时排水。图 2 是(末级管道)在灌溉和排水时田间水平衡要素运移图。

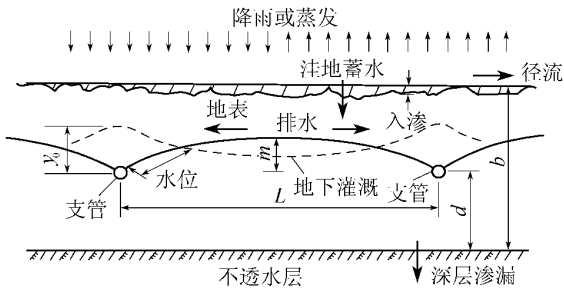


图 2 末级排水管在灌溉和排水时田间水平衡要素的运移^[6]

干管是连接支管、湿地和水塘的通道。灌溉排水系统中还有一个重要的设施——出口水位控制设施。该设施的现场实物见图 3 ,工作原理见图 4。其主要作用是根据作物对地下水水位的要求调节暗管出口的水位控制高度 ,该设施的工作原理相当于 1 个闸门 ,该闸门的高度可以调节 ,水从闸门的顶部溢出。



图 3 水位控制设施

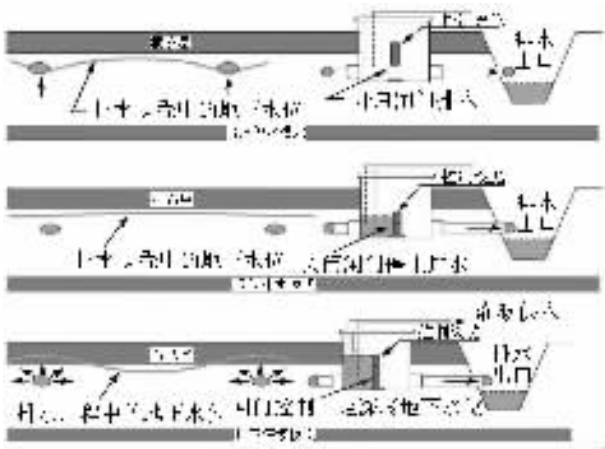


图 4 水位控制工作原理

将暗管排水出口采用该控制设施具有重要意义 ,它是传统的农田地下自由排水与控制排水的本质区别之所在。传统的自由排水由于对出口不加控

制,不仅带来无效的排水,增加灌溉水量、浪费水资源,还致使农田化学物质随排水而流失,造成肥料的损失和水质的恶化。因此,该设施虽然简单,却给农田排水带来了划时代的变革。

1.3 水质处理系统

如果不考虑生态、景观和水文效益,对工业和生活污水的处理来说,湿地是一种效率低而且成本高的水处理方式,主要原因是湿地需要占用较大面积的土地,而且,湿地对污染物质的处理主要靠湿地植物、动物和填料及底泥的生化过程,这种过程是极其缓慢的。但对于农田的排水而言,采用湿地处理是一种几乎难以替代的方式,因为农田排出污染物主要是作物的养分,采用湿地作物吸收是非常有效的,而其农田排水量大、分散、面积广、难以集中,农村的土地价值相对便宜,而且湿地的建设可以充分利用废弃的土地。因此,利用人工建造的湿地处理农田排水几乎难以找到更为合适的替代方式。

从美国建设的 WRSIS 系统中的湿地来看,湿地的面积在 $0.1 \sim 1.0 \text{ hm}^2$ 之间,湿地的设计和建设非常简单,只是在建设地点按照设计要求挖一个凹地,凹地的剖面具有适合不同种类作物生长的空间结构,凹地要有作物生长的土壤,没有设置专门的填料和地泥。也没有专门向内种植作物,但要保持适宜的水分条件,以利作物生长。作物是经过 $1 \sim 2 \text{ a}$ 自然生长的。

湿地的功能主要是处理水质,利用作物、底泥吸收、吸附、降解污染物(主要是农田排出的氮、磷等污染物)。同时,湿地和水塘一起调节地面径流、削减洪峰、保持水资源、补充地下水源等功能。除了减轻干旱危害之外,还具有防洪、维持良好的区域水土条件、改善生态环境的功能。

1.4 附属设施

附属设施主要是指连接暗管与水源、湿地的供水管道和自动水泵及控制水泵的感应器与自控系统,图 5 为泵站及其附属设施的照片。

2 WRSIS 的适用条件及需要深入研究的问题

从上面的介绍可以看出,WRSIS 是一种新型的农田水管理系统,它将农田的灌溉、排水、农田排水造成的面源污染统一进行管理,是对传统农田灌排系统的一次变革。WRSIS 适用于以下条件:

a. 适用于旱作区。由于采用地下灌溉系统,对于水稻不适用。

b. 适用于降雨量比较丰富的地区。由于采用地下渗灌,在降雨量稀少的条件下,表土易产生盐碱化,如果要采用的话,需要采用表土漫灌压盐。



图 5 泵站及其附属设施

c. 适用于经济比较发达或者经济作物区。由于系统采用暗管灌溉和排水,同时,还需要建立相应的湿地、水源工程,尤其是要有一套配套的水泵自动控制系统,初始投资和运行费用均较高,因此,适合于经济发达或者经济作物区。在我国,尤其推荐在温室及塑料大棚中使用。

目前 WRSIS 系统在美国尚处于试验及示范阶段,还没有见到有关 WRSIS 的设计规程规范。笔者认为,为有效地利用该系统进行农田水量与水质的综合管理,尚有以下问题需要深入研究:

a. 在水源工程方面,目前 WRSIS 系统的水源工程主要是小型水塘,水塘的密度、容积与控制面积、降雨、土壤等的关系,是系统能否有效供水的关键。此外,能否采用其他水源条件,例如,水库、河流、湖泊,如果能的话,如何将水源纳入 WRSIS 系统,也需要研究。

b. 在田间灌溉排水系统方面,WRSIS 中应用的是暗管,暗管既具有灌溉的功能,又具有排水的功能,目前关于自由排水条件下的暗管设计与参数有较多的研究,但在出口控制的条件下具有排水

和灌溉双重功能的暗管设计与参数却鲜有研究。显然,这与特定的条件,例如作物种类、气象、土壤、水文地质条件有关。此外,出口控制设施在不同的作物之间、在不同的季节之间如何调控,也需要进一步研究;同时,在少雨地区,地下渗灌可能带来表土的盐碱化问题,如何解决此类问题也是应用WRSIS的关键。

c. 在水质处理系统方面,湿地规模与控制区域内农田面积、灌溉施肥制度的关系,湿地水处理效果、水文及环境效应等也是需要深入研究的。

d. 在附属设施方面,目前灌溉水泵的启闭主要是根据地下水位来调控的,如果结合土壤的墒情监测进行控制也需要深入研究。

e. 在系统的效果方面,该系统的水文、水质处理、水资源利用效率、环境与生态效应等与系统的布置形式、系统在区域上的分布密度等的关系,需要深入研究。

致谢 武汉大学茆智院士对本文提供了指导,美国俄亥俄州立大学 Larry C Brown 教授为本文提供了资料,特此致谢。

参考文献：

[1] 王修贵,茆智,李新建.改善河流水质的农业水管理措

(上接第 84 页)

[14] SCHWANENBERG D ,HARMS M. Discontinuous Galerkin finite-element method for transcritical two-dimensional shallow water flows[J]. Journal of Hydraulic Engineering ,ASCE , 2004 ,130(5) :412-421.

[15] HSU S M ,LIU T M. Assessment of MacCormack scheme in transcritical flow computation [C]/BABOVIC V. Hydroinformatics '98. Proceedings of the Third International Conference on Hydroinformatics. Copenhagen , Denmark : Taylor & Francis ,1998 :1375-1381.

[16] MacDONALD I ,BAINES M J ,NICHOLS N K ,et al. A new method for the computation of steady open-channel transcritical flow[C]/Hydro 2000. London ,Local Organizing Committee of the XXV Congress. Proceedings of the Congress-International Association for Hydraulic Research. Netherlands , 1995 :561-566.

[17] MacDONALD I ,BAINES M J ,NICHOLS N K ,et al. Analytic benchmark solutions for open-channel flows[J]. Journal of Hydraulic Engineering ,ASCE ,1997 ,123(11) :1041-1045.

[18] MacDONALD I ,BAINES M J. Comparison of some steady state Saint-Venant solvers for some test problems with analytic solutions[R]. Reading ,England :Department of Mathematics , University of Reading ,U. K. ,1995.

施 [C]//水利部国际合作与科技局.河流生态修复技术研讨会论文集.北京 :中国水利水电出版社 ,2005 :60-65.

[2] ALLRED B J ,BROWN L C ,FAUSEY N R , 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.

[3] BAKER B J ,ALLRED B J ,LUCKEYDOO L M ,et al. Ohio wetland reservoir subirrigation system(WRSIS) preliminary results [C]//Proceedings of the Eighth International Symposium. Sacramento. California USA :ASAE Publication , 2004 :89-98.

[4] LUCKEYDOO L M ,FAUSEY N R ,BROWN L C ,et al. Early development of vascular vegetation of constructed wetlands in northwest Ohio receiving agricultural waters[J]. Agriculture , Ecosystems and Environment 2002 ,88 :89-94.

[5] ZUCKER L A ,BROWN L C. Agricultural drainage :water quality impacts and subsurface drainage studies in the midwest [EB/OL].[2009-03-20]. <http://ohioline.osu.edu/b871/index.html>.

[6] SKAGGS R W. Drainmod reference report[EB/OL][2009-03-20]. http://www.bae.ncsu.edu/soil_wate r/drainmod/manuals.html.

(收稿日期 2009-02-19 编辑 :马敏峰)

[19] HAVNO K ,BRORSEN M ,REFSGAARD J C. Generalized mathematical modelling system for flood analysis and flood control design[C]//STANBURY J E A. Papers Presented at the 2nd International Conference on the the Hydraulics of Floods & Flood Control. Cambrige ,England :BHRA ,1985 : 301-306.

[20] DJORDJEVIC S ,PRODANOOVIC D ,WALTERS G A. Simulation of transcritical flow in pipe/channel networks[J]. Journal of Hydraulic Engineering ,ASCE ,2004 ,130(12) : 1167-1178.

[21] KUTIJA V. On the numerical modeling of supercritical flow [J]. Journal of Hydraulic Research ,1993 ,31(6) :841-858.

[22] MacDONALD I. The numerical solution of free surface/ pressurized flow in pipes[D]. Reading ,England :Department of Mathematics ,University of Reading ,U. K. ,1992.

(收稿日期 2009-01-19 编辑 :方宇彤)

