

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2015.06.001

# 生态节水型灌区建设的主要内容与关键技术

王超<sup>1,2</sup>, 王沛芳<sup>1,2</sup>, 侯俊<sup>1,2</sup>, 钱进<sup>1,2</sup>, 饶磊<sup>3</sup>, 敖燕辉<sup>1,2</sup>

(1. 河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室, 江苏南京 210098;

2. 河海大学环境学院, 江苏南京 210098; 3. 河海大学机电学院, 江苏常州 213022)

**摘要:**针对传统灌区建设中存在的重工程和经济效益、轻生态环境的现象,以及由此造成灌区面源污染严重、水生态环境恶化的问题,在总结分析国内外灌区理论研究和建设实践的基础上,提出生态节水型灌区的建设思路、构建模式和技术体系,旨在为我国灌区节水、减污、绿色、生态、智能的科学发展提供理论依据和技术借鉴。

**关键词:**灌区建设;生态节水型灌区;灌区技术体系;研究进展

中图分类号:S274 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2015)06-0001-07

## Main contents and key technologies of constructing ecological water-saving irrigation district

WANG Chao<sup>1,2</sup>, WANG Peifang<sup>1,2</sup>, HOU Jun<sup>1,2</sup>, QIAN Jin<sup>1,2</sup>, RAO Lei<sup>3</sup>, AO Yanhui<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Integrated Regulation and Resources Development on Shallow Lakes, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. School of Mechanical and Electrical Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China)

**Abstract:** To change the phenomenon of weighing the engineering and economic profit while ignoring ecological environment when constructing traditional irrigation district, and the results of heavy pollution in irrigation district and poor water environment caused by it, construction routine, building mode and technology system were proposed based on analyzing irrigation theoretical research and constructing practice from home and abroad. All these provide theoretical basis and technology reference for water-saving, pollution-free, green and intelligent science development of irrigation district in our country.

**Key words:** irrigation district construction; ecological water-saving irrigation district; technological system of irrigation district; research advances

灌区是我国粮食安全的基础保障,现代化农业发展的主要基地,区域经济发展的重要支撑,生态环境保护的基本依托。截至2011年年末,全国共有灌溉面积6680万 $\text{hm}^2$ ,其中建成了456处大型灌区、7316处中型灌区。我国2013年年末农田有效灌溉面积6346.67万 $\text{hm}^2$ ,生产的粮食产量占全国粮食总产的75%,经济作物占90%,在农业生产和农村经

济发展中占有举足轻重的地位<sup>[1]</sup>。而我国以往的灌区建设由于受到经济、技术、资源等条件的限制,存在着重工程建设和经济效益、轻灌区生态环境的倾向,引起灌区面源污染严重,水环境恶化,可利用水资源减少与生态用水无法保障,地下水超采与地下水水位下降,土壤复合污染与次生盐渍化,生物多样性下降与生态群落退化等问题,极大地影响了灌

基金项目:国家自然科学基金(51421006);江西省水利科技重大项目(KT201410);中央高校基本科研业务费项目(2015B25314)

作者简介:王超(1958—),男,院士,主要从事水资源保护研究。E-mail:cwang@hhu.edu.cn

通信作者:王沛芳,教授,博士生导师。pawang2005@hhu.edu.cn

区功能的发挥,灌区成为江河湖库的主要污染源。全国用水总量约 60% 用于农田灌溉,据《第一次全国污染源普查公报》<sup>[2]</sup>,农业污染源 COD、TP、TN 排放量分别占全国排放总量的 44%、38% 和 59%,农业面源污染已经成为我国流域性水体污染的重要来源。

生态型灌区是灌区发展过程中,是解决灌区水生态环境安全和资源节约、农业高产的重要途径。水利部农水司姜开鹏副司长<sup>[3]</sup>在 2004 年就运用生态文明的观点对灌区进行了剖析,提出了建设生态灌区的任务和内 容。2005 年顾斌杰<sup>[4]</sup>提出了生态型灌区的概念,并对其构建原理、建设技术进行了研究。随后,关于灌区生态建设的概念内涵、研究内容、建设理论、关键技术等方面的研究备受关注<sup>[5-8]</sup>。然而,灌区是一个人类活动-自然资源-物质生产高度集中的生态系统,在自然资源特别是水资源有限以及强人类活动干扰下,如何实现灌区生态系统良性发展、资源节约与排水绿色,仍需要进一步加强生态节水型灌区关键技术的研究与实践。

笔者在总结分析传统灌区建设特点及现代灌区生态建设经验和生态灌区建设内涵的基础上,提出生态节水型灌区的建设思路、构建模式和技术体系,旨在为当前灌区的生态文明建设和灌区节水减污提供理论依据和技术支持。

## 1 传统灌区建设特点与存在的问题

我国大部分灌区是在中华人民共和国成立后建成的。20 世纪 50—60 年代以建设新灌区、改建和扩建旧灌区为主,20 世纪 70 年代着重农田水利配套工程建设,全国有效灌溉面积大幅增加,粮食产量显著提高。随着水资源紧缺的矛盾日益显著,我国大型灌区从 2000 年开始陆续进行续建配套与节水改造工作,灌溉面积萎缩和灌溉效益衰竭的趋势得到了初步遏制。2005 年水利部组织对大型灌区节水改造项目进行中期评估,灌溉水利用系数由 0.425 提高到 0.499,农业总产值增幅达 46.1%,灌区信息化试点工作也取得初步成效,灌区管理水平显著提高。自 20 世纪 90 年代以来,随着全国生态农业县和生态示范区建设试点工作的开展和深入,生态灌区的研究成为区域可持续发展研究的热点领域之一,灌区生态系统健康逐渐成为倍受人们关注的热点问题,国内外对灌区生态系统受损机理及修复措施进行了探讨,以生态学理论为指导,使灌区生态与水土资源开发利用、经济的发展走向相协调。国家“十一五”和“十二五”规划进一步明确加大灌区改造力度,并强调以科学的发展观和新的治水思路为指导,调整灌区建设的发展理念,探索以灌区生产力和

生态环境并重的为核心的灌区建设新模式。

我国灌区建设中存在的突出问题主要包括以下几个方面。

**a. 灌溉渠道问题。**当前,我国灌溉渠道总长约 450 万 km,其中约 5/6 为土质渠道,土质渠道生态性与净污性较好,但难以满足高效灌溉输水需求。①渠系水利用系数约 0.52(我国最严格水资源管理制度“三条红线”之一要求农田灌溉水有效利用系数达到 0.60),渗漏损失严重,48% 宝贵的灌溉水资源在输水过程中损失。②渠道冲刷、淤积及坍塌严重,输水安全难以保证。③渠道内容易杂草丛生,影响输水,增加管理费用。渠道衬砌防渗是保障农田灌溉水高效利用和输水安全的必要措施。

**b. 渠道衬砌与防渗工程的问题。**在灌区的发展中,为减轻渠道渗漏,强化边坡稳定、控制地下水水位,实施了渠道全衬的“三面光”及边坡防护的硬质化工程,有效提高了灌区渠道的输水能力,但传统灌区产生了渠道衬砌与防渗工程的典型问题:①硬质衬砌使水生植物无法生长,生物栖息环境丧失,生态系统结构遭到破坏。②渠道水体自净能力下降,面源污染物通过衬砌护坡很容易进入水体,进一步加重了水体的污染负荷。如何保证高效灌溉和边坡稳定的同时,满足生态功能成为渠道构建难点。③衬砌渠道对地表水和地下水的交换、周围的气候环境等有显著的负面影响。

**c. 农田排水面源污染问题。**排除农田里多余的地表水和地下水,控制地表径流以消除内涝,控制地下水水位以防渍害和土壤沼泽化、盐碱化,为改善农业生产条件和保证高产稳产创造良好条件,是农田排水的根本任务。然而,目前排水沟多为“三面光”和硬质化衬砌,很少考虑排水对环境的影响和雨水资源的有效利用,地表径流和地下排水(淋溶)流失进入环境水体是稻田氮磷污染的主要途径。如何在保证农业排水要求下减少氮磷流失,成为解决农田排水面源污染问题的关键。

## 2 生态节水型灌区的内涵

生态节水型灌区是传统灌区的继承和发展,与传统灌区相比,生态节水型灌区的基本特点是,既拥有较高的生产力,又能实现与水资源和灌区生态环境的协调发展,具体表现为现代性、发展性和协调性 3 大特点。现代性是指用现代社会理念和先进科技成果指导灌区建设,灌区技术装备凝聚着社会进步的新成果;发展性是指生态节水型灌区的要求不是一成不变,而是随着社会经济的发展而不断变化和发展;协调性就是要求灌区不仅要提高和巩固生产

力,而且要处理好与生态环境的关系,二者紧密结合,协调发展。生态节水型灌区的协调性是灌区发展和实现现代化的基础。

生态节水型灌区是指灌区渠系工程布局合理、水资源开发利用高效,水-植物-土壤生态系统健康、生态环境优美,农副业生产效益显著、产品品质优良,灌区建设与流域生态环境发展相协调,是“自然-社会-经济-生态”可持续和谐发展的灌区<sup>[4]</sup>。

### 3 生态节水型灌区建设的主要研究内容

当前生态灌区建设中技术创新的重点是灌区沟渠系统的生态化。大量的研究和探索工作集中于灌区沟渠生态护岸建设<sup>[9-12]</sup>、灌区护岸生态材料选择<sup>[13-15]</sup>等方面,目标是建设有利于护岸净污和生态系统良性循环的沟渠系统。节水技术也是灌区建设的重要工作和研发任务。学者们主要从灌区水资源优化配置、灌溉方式、施肥方法等方面进行了大量研究<sup>[16-20]</sup>,这些研究对节水减污起到了重要作用。另外,灌区的自动化建设与信息化逐渐受到重视,部分灌区进行了自动化控制设计,实现了干渠的水量控制<sup>[21]</sup>。目前在国际上,美国、日本、丹麦等国家已经构建成熟的灌区规划管理体系,实现了水量控制、水质监控、节约用水、内部循环等生态化、信息化、现代化的生态灌区建设模式<sup>[22]</sup>。我国当前的研究和建设工作大多集中在生态型灌区建设的某些方面,对生态沟渠建设技术的研究和应用还不够系统,大量工作还停留在技术创新的理念上,距离应用还有一定距离。我国的灌区节水研究不能仅仅停留在灌溉层面,尚需对灌区系统进行科学规划,以实现节水减排和再生水循环利用。同时,亟须对大量灌区产生的废弃物(秸秆)等进行低耗能、广适性技术的研发应用,最终实现灌区的生态建设目标,达到资源、经济、社会、生态的和谐统一。

#### 3.1 生态节水型灌区规划方法与生态建设模式

针对灌区总体布局灌排水系堵塞不畅、规划生态观念薄弱、沟渠硬质化现象严重、洼陷湿地布局不合理、系统净污和调蓄水能力下降等突出问题,应重点开展以下研究:①基于生态学原理的灌区规划与生态建设模式;②生态节水型灌区灌排系统和湿地布局规划方法;③灌区生态环保型农业结构与调整规划方法。目标是实现灌区农业结构的优化布局和生态环境的合理规划,灌区灌排系统畅通和湿地布局合理,生态建设模式先进,良性发展。

#### 3.2 灌区生态环境需水与水资源高效优化配置

针对灌区农业用水、生活用水、工业用水挤占生态环境用水,水资源配置不合理,灌区生态环境用水

得不到保障,灌区生态系统退化等问题,要开展的研究有:灌区生态环境需水与水资源综合配置理论,维持灌区生态水量的控制方法和工程措施,灌区农田退水循环利用技术和系统控制,灌区水资源综合管理模型的研发及其应用,不同类型灌区水量控制方法和工程措施,水资源高效利用和农田退水循环利用的原则、准则、指标、方法、技术及其政策措施。

#### 3.3 灌区沟渠和湿地生态化建设

针对沟渠顺直化、单一化、硬质化引起的面源污染截留能力减弱、基底生境退化、水生生物消失和生物多样性下降等突出问题,要开展以下工程技术研究:灌区沟渠纵横形态与断面形式生态化技术,沟渠生态护坡与基底生态修复技术,沟渠退水水质强化净化生物装置技术,灌区湿地系统构建和水质净化技术。目的是既实现“边坡生态化、面源截留净化、沟渠绿色化”,又确保沟渠“输水高效、结构稳定、施工便捷、管理简单和投资节省”。

#### 3.4 灌区污染物截留净化与资源化高效利用

针对农田退水、养殖废水、田间秸秆塑料、村庄生活污水和垃圾等引起灌区污染的突出问题,要开展以下核心技术研究:灌区村镇地表径流拦蓄与资源化利用技术,灌区农田排水生态拦截与养分再利用技术,灌区农田废弃物(特别是秸秆)处置与资源化技术,灌区村庄生活污水和垃圾处理与资源化技术,畜禽和水产养殖业污水和垃圾处理与资源化技术。采用灌区污染物有效截留净化、秸秆资源化高效利用系列技术,在治理灌区污染的同时,可实现灌区潜在资源的高效开发和利用。

#### 3.5 灌区水肥精准灌溉与水量水质自动监控系统

以灌区作物生长、化肥施用、农田排水、水体污染为重点,开展灌区水肥精准灌溉的计量与水量水质自动监控技术的研究,这些研究包括:灌区水肥精准灌溉的计量装置与自动化控制技术,灌区土壤水分、作物生长信息监测与水肥精准灌溉系统,灌区田间水分长期监测和反馈调控系统,各级灌溉渠道水量、水位和农田排水量、水质监控系统。目的是形成不同类型灌区水肥精准灌溉与水量水质自动监控系统,实现对灌区水肥、污染物“智能、节约、生态、高效”自动化管理。

### 4 生态节水型灌区建设的技术思路与关键技术

#### 4.1 技术思路

生态节水型灌区建设应该在流域的层面上,以综合治理为指导方针,以水肥高效利用与面源污染物协同控制为理念,以灌区渠道、排水沟、水塘、湿地

和村镇居民生活污水为对象,以面源污染物削减、生态拦截与沟道修复为重点,以节水为关键,以生态改善为目的,实现灌区“节水、减源、截留、生态”的总体目标。

在生态节水型灌区建设技术体系中,应遵照总体设计思路,以灌区各类污染源控制技术研发为重点,通过沟渠系统的生态工程建设和污染物强化净化及生态截留技术的创新,实现对灌区氮磷、农药、重金属等污染物的有效截留,同时,在灌区中因地制宜地构建洼陷生态湿地系统,对灌区沟道排放出的污染物进行强化净化,实现灌区水资源和肥料农药的循环利用,并通过灌区灌溉排水信息化、智能化管理,形成生态节水型灌区的最佳管理模式。

## 4.2 关键技术

针对传统灌区存在的突出问题,围绕生态节水型灌区建设内容,笔者认为,灌区建设关键技术应包括灌区生态规划方法与生态建设模式、灌区生态环境需水与水资源高效优化配置、灌区沟渠生态化建设、灌区污染物资源化处置与高效利用、灌区生态环境信息自动化监测与控制系统等5个方面。本文就当前最受关注的沟渠系统生态化建设和修复技术、污染物强化净化技术和截留技术、洼陷湿地系统与退水循环系统构建技术、灌区水肥精准灌溉和水量水质监控技术等4个方面进行重点分析,阐述生态节水型灌区建设的主要问题及关键技术难点,旨在为灌区节水、控源、高产、生态的良好愿景提供技术支持和理论依据。

### 4.2.1 灌区沟渠系统生态化建设和修复技术

灌区沟渠系统的生态化建设是国内外灌区建设者及学者非常重视的热点问题<sup>[23-25]</sup>。本文针对灌区输水渠道“三面光”全衬砌导致生物栖息地破坏和水陆生物通道阻隔的突出问题,提出采用防渗型护岸砌块、水陆动物联通带等系列生态工程建设技术,通过混凝土材料改性、结构形式优化、植物组合配置等方法,实现渠道输水效率的提高和生物生境条件的改善。对已经建成的混凝土全衬砌渠道,采用现场修复改造防渗性生态槽、生物逃逸通道等核心技术。针对灌区排水沟道边坡硬质化防护导致净污能力下降和生物栖息环境破坏的突出问题,通过构建生态排水沟道,运用生态净污砌块、沟道水生植物、生物净化器,实现对农田排水氮磷的生态拦截;在生态排水沟中设置便携式水质净化器、复合人工湿地净化箱等,充分利用微生物净污介质耦合微生物作用增强沟系净污能力,使沟系不仅具有显著净污效应和生态功能,而且不影响排水功能的发挥。同时,针对顺直化排水沟对农田排水滞留时间不足

和面源净污能力有限的突出问题,开发排水沟带状湿地、梯级平底湿地,实现排水间歇期水体滞留和湿地原位净化,并根据排水面积、排水量和污染负荷调节湿地面积和植物种植密度,对灌区面源污染进行有效净化。借助植生净水石笼、水生植物、柳捆、净水小溪等,构建纵向蜿蜒的结构形态,增加排水停留时间,增强面源净化能力,改善水环境质量,营造适宜生物栖息环境,形成生物多样的健康沟渠。

### 4.2.2 灌区污染物源头控制和截留净化技术

针对灌区面源污染物类型多、来源广、成分复杂等突出问题,按照“因地制宜、高技术、低建设与运行成本、低维护、资源化利用”的原则,开发适合灌区农田退水、农村生活污水、农村生活垃圾、畜禽养殖、水产养殖、村镇地表径流等不同类型污染物的源头控制和截留净化整装成套的创新技术体系,实现灌区污染物控制技术在高效、节能、节地方面的重要突破。利用置于田埂的水稻田退水水质净化装置<sup>[26]</sup>,拦截退水中氮磷物质,利用活性炭吸附水中重金属、残留的农药等有害物质,实现水质净化装置结合退水排放过程中形成的生态型排水方式,在不改变农业生产格局的前提下实现水质净化、排水通畅。针对灌区生活污水的处理净化问题,在传统污水处理技术的基础上,利用生活污水复合渗滤强化净化系统,因地制宜,利用岸坡大小坡度设置厌氧发酵池、厌氧滤床槽、反应槽、接触曝气槽、生物滤料池及渗滤墙等污水净化单元,借助活性炭、零价铁和微生物的协同强化作用,实现对灌区面源污水的强化、净化<sup>[27-28]</sup>。

### 4.2.3 灌区洼陷湿地系统的构建与农田退水的循环利用技术

灌区农田退水湿地净化与循环利用技术是灌区技术体系的重要组成部分。人们开始重视农田区域洼陷结构的利用和重构,以实现灌区排水污染物的进一步截留净化<sup>[29-34]</sup>。通过长期研究和工程实践,笔者研究团队从节水高效控污的灌排系统的设计与工程形式方面进行技术开发与集成创新,提出了适合灌区不同灌排系统格局的洼陷湿地系统与农田退水循环利用技术体系<sup>[35-36]</sup>,实现灌区水肥的高效利用和节约。研发灌排耦合水循环利用节水减污技术,利用循环调节湿地,对灌区田间排水进行净化减污,减小农田面源污染物外排对河流和湖泊造成的影响,处理后的水体通过灌排耦合系统回用灌区,提高了灌区水肥利用效率。依据地势特征因地制宜地构建灌排功能相结合的生态净污系统或自灌自排生态型灌区系统,达到自灌自排和水资源高效循环利用的目的,并通过多级阶梯形生物强化人工湿地

的净污作用,有效控制灌区排水面源污染物<sup>[37]</sup>。同时利用灌区内水塘、断头浜等洼陷结构构建水田排水湿地系统,有效拦截面源污染,改善水质,为动物提供栖息空间、生存环境和生物保育条件。

#### 4.2.4 灌区水肥精准灌溉和水量水质监控技术

节水减排、节水减污是生态节水型灌区建设的重要内容,也是农业面源控制的根本途径和建设目标。当前,国内外在灌区建设中已经在尝试开展自动化监测系统研究<sup>[38-39]</sup>、采用作物智能化精准灌溉监测控制技术<sup>[40-42]</sup>。针对灌区用水量大和准确计量困难的突出问题,研究者采用多种非电量间接测量及嵌入式程控技术对灌溉渠系过水量实施精准计量,研发了水量计量及自动闸门一体化、田间灌溉自升降式、灌溉沟渠倾角式等田间灌溉水量计量自动化和一体化装置,形成不同类型灌区水肥精准灌溉与水量水质监控系统,提升对灌区水分、肥料、退水污染物的“智能、节约、生态、高效”自动化管理水平。通过精准计量的用水总量控制,依靠经济杠杆作用,实现高效节水和有效控污的目标。同时,在水量水质监控管理方面,采用农田灌区水量监控及调配信息系统,实现实时监控灌区渠系水情及闸门运行状况,及时准确反馈和预测灌区水量分配状态,为灌区水量调配提供决策依据。对灌区各级闸门进行远程控制,可有效提高灌区水量计数和水价计算,强化节水意识和经济杠杆作用<sup>[43]</sup>。采用农田肥力及土壤温湿度自动监控系统,对农田进行长周期全天候监控,统计分析监控周期内的温湿度数据、肥力元素(N、P、K)含量,并基于相关数学模型对农田运行状态给出评级,自动形成分析报告,为优化资源配置、提高劳动生产率提供指导<sup>[44]</sup>。农田灌区面源污染监控及预报系统,主要针对农田灌区排水系统水体中的TP、TN、NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、PO<sub>4</sub>-P以及重金属元素Mn等重要污染物质量浓度进行长周期监控,并对这些质量浓度数据的变化情况进行统计分析,为灌区面源污染控制提供依据<sup>[45]</sup>。利用最终形成的不同类型灌区生态环境信息自动化监测与控制系统,实现对灌区水分、肥料、面源的“智能、节约、生态、高效”自动化管理。

## 5 结论

生态节水型灌区建设内容和关键技术适应当前我国灌区发展战略与生态文明建设的要求,可为实现灌区“节水、减源、截留、生态”的总体目标提供理论基础和技术支持。但我国地域广阔,不同区域的灌区特点、土壤特征和作物种类各异,不同灌区需因地制宜合理选择灌区生态建设技术。

## 参考文献:

- [1] 王爱国. 大力推进灌区生态文明建设[J]. 中国水利, 2013(15): 9-12. (WANG Aiguo. Promoting ecological civilization construction in irrigation district [J]. China Water Resources, 2013(15): 9-12. (in Chinese))
- [2] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国农业部. 第一次全国污染源普查公报[EB/OL]. [2010-02-06] [http://www.gov.cn/jrzq/2010-02/10/content\\_1532174.htm](http://www.gov.cn/jrzq/2010-02/10/content_1532174.htm).
- [3] 姜开鹏. 建设生态灌区的思考—用生态文明观, 拓展思路, 促进灌区可持续发展[J]. 中国农村水利水电, 2004(2): 4-10. (JIANG Kaipeng. Consideration on construction of zoology irrigation district [J]. China Rural Water and Hydropower, 2004(2): 4-10. (in Chinese))
- [4] 顾斌杰. 生态型灌区构建原理及关键技术研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [5] 姜树斌. 关于生态灌区建设中的若干问题探讨[J]. 民营科技, 2014(2): 100-103. (JIANG Shubin. Study on several problems about construction of ecological irrigation district [J]. Non-State Running Science & Technology Enterprises, 2014(2): 100-103. (in Chinese))
- [6] 彭世彰, 纪仁婧, 杨士红, 等. 节水型生态灌区建设与展望[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(1): 1-7. (PENG Shizhang, JI Renjin, YANG Shihong, et al. Construction and prospect of water-saving ecological irrigation district [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(1): 1-7. (in Chinese))
- [7] 张展羽, 孔莉莉, 张国华. 我国生态灌区建设浅议[C]//中国水利学会 2006 学术年会论文集: 农村水利与社会主义新农村建设. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [8] 张占庞, 韩熙. 生态灌区基本内涵及评价指标体系评价方法研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18): 8621-8623. (ZHANG Zhanpang, HAN Xi. Study on evaluation method of basic meaning and evaluation index system in ecological irrigation district [J]. Journal of Anhui Agri. Sci, 2009, 37(18): 8621-8623. (in Chinese))
- [9] 顾宏, 黄万勇, 李江安, 等. 高邮灌区渠道生态衬砌形式与综合评价[J]. 节水灌溉, 2012(12): 51-53, 57. (GU Hong, HUANG Wanyong, LI Jiangan, et al. Ecological lining types of canals in Gaoyou irrigation district and their comprehensive evaluation [J]. Water-saving Irrigation, 2012(12): 51-53, 57. (in Chinese))
- [10] 胡宜刚, 张志山. 黄河灌区农田生态沟渠建设的方法: 青海, CN201310069254. 4[P]. 2013-03-05.
- [11] 顾斌杰. 灌区生态型沟渠形态构建技术研究[J]. 中国农村水利水电, 2006(10): 4-6. (GU Binjie. Irrigation district ecological ditch form construction technology research [J]. China Rural Water and Hydropower, 2006

- (10): 4-6. (in Chinese))
- [12] HEFTING M M, JEROEN J M, KLEIN D. Nitrogen removal in buffer strips along a lowland stream in the Netherlands: a pilot study [J]. *Environment Pollution*, 1998, 20: 89-103.
- [13] 裴宇波, 陈新国, 董建伟. 水田灌区排水渠道的拟自然生态防护技术[J]. *吉林水利*, 2011(10): 8-10, 20. (PEI Yubo, CHEN Xinguo, DONG Jjianwei. The imitated nature ecology protection technology applied in the irrigation drainage channels of paddy field [J]. *Jilin Water Resources*, 2011(10): 8-10, 20. (in Chinese))
- [14] 迟艺侠, 张展羽, 朱磊, 等. 大型输水渠道渠岸带植物配置模式研究[J]. *中国农村水利水电*, 2009(6): 126-128. (CHI Yixia, ZHANG Zhanyu, ZHU Lei, et al. Research on models of plant arrangement of eco-embankment zones in South-North Water Transfer East Route Channel [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2009(6): 126-128. (in Chinese))
- [15] 罗朝晖, 王超, 平山公明, 等. 灌区多孔质生态河床的改良及净污效果试验研究[J]. *三峡大学学报: 自然科学版*, 2008(1): 44-48. (LUO Zhaohui, WANG Chao, PINGSHAN Gongming, et al. Experimental study on purification efficiency of modified porous riverbed in eco-irrigation district [J]. *Journal of China Three Gorges University: Natural Sciences*, 2008, 30(1): 44-48. (in Chinese))
- [16] 张端梅, 梁秀娟, 李钦伟, 等. 灌区多目标种植结构优化模型研究[J]. *人民黄河*, 2013, 35(1): 91-93. (ZHANG Duanmei, LIANG Xiujuan, LI Qinwei, et al. Study on model with multi-objective optimization of planting structure in irrigation area [J]. *Yellow River*, 2013, 35(1): 91-93. (in Chinese))
- [17] 李鹏. 变化环境对灌区水循环的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [18] 常青, 徐新文, 李丙文. 多支管供水节水灌溉方法: 北京, CN101731123A [P]. 2010-06-16.
- [19] 王晓峰, 王纪红, 赵璐. 干旱缺水型灌区经济用水模式研究: 以宝鸡峡灌区为例[J]. *干旱地区农业研究*, 2009(6): 97-101. (WANG Xiaofeng, WANG Jihong, ZHAO Lu. Study on economical water-use model for dry and water scarcity irrigation district: taking Baojixia Irrigation District as a research object [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009(6): 97-101. (in Chinese))
- [20] 崔增团, 高飞. 甘肃河西灌区棉花膜下滴灌水肥一体化技术[J]. *甘肃农业科技*, 2012(11): 36-40. (CUI Zengtuan, GAO Fei. Cotton membrane under drip irrigation in the irrigation area of cucumber in hexi corridor in Gansu province [J]. *Agricultural Science and Technology of Gansu*, 2012(11): 36-40. (in Chinese))
- [21] 许迪, 龚时宏. 大型灌区节水改造技术支撑体系及研究重点[J]. *水利学报*, 2007(7): 806-811. (XU Di, GONG Shihong. Technical supporting system for water saving orientated rehabilitation of large irrigation districts [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007(7): 806-811. (in Chinese))
- [22] LI Mo, GUO Ping, HANG Liudong, et al. Multi-dimensional critical regulation control modes and water optimal allocation for irrigation system in the middle reaches of Heihe River Basin, China [J]. *Ecological Engineering*, 2015, 76: 166-177.
- [23] 杨林章, 周小平, 王建国, 等. 用于农田非电源污染控制的生态拦截型沟渠系统及其效果[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(11): 1371-1374. (YANG Linzhang, ZHOU Xiaoping, WANG Jianguo, et al. Ecological ditch system with interception function and its Effects on controlling farmland non-point pollution [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(11): 1371-1374. (in Chinese))
- [24] 王超, 王沛芳, 侯俊, 等. 一种构建农田排水生态净化系统的方法: 江苏, CN102145957A [P]. 2011-08-10.
- [25] 饶磊, 王沛芳, 陈宇, 等. 一种适用于农田排水沟渠的多层溢流式生态净化池: 江苏, CN104310572A [P]. 2015-01-28
- [26] 王沛芳, 王超, 钱进, 等. 置于田埂的水稻田退水水质净化装置: 江苏, CN 201410068237. 3 [P]. 2014-02-27.
- [27] 王沛芳, 侯俊, 王超, 等. 灌区生活污水活性铁-厌氧微生物耦合强化脱氮除磷装置: 中国, 201510219450. 4 [P]. 2015-07-08.
- [28] 侯俊, 王沛芳, 王超, 等. 灌区生活污水零价铁/微生物复合渗滤墙净化系统: 中国, 201510219388. 9 [P]. 2015-07-15.
- [29] DAVID A K, DAVID M B, GENTRY L E, et al. Effectiveness of constructed wetlands in reducing nitrogen and phosphorus export from agriculture tile drainage [J]. *Environmental Quality*, 2000, 29: 1262-1274.
- [30] 王海燕, 邵孝侯, 廖林仙, 等. WRSIS 在灌溉农业水土环境修复中的应用及其展望 [C] // 土壤科学与社会可持续发展 (中): 土壤科学与资源可持续利用. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
- [31] 何军, 崔远来, 吕露, 等. 沟渠及塘堰湿地系统对稻田氮磷污染的去除试验 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(9): 1872-1879. (HE Jun, CUI Yuanlai, LYU Lu, et al. Experiments on removal effects of ditch-pond wetland system on N and P pollutants from paddy field [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(9): 1872-1879. (in Chinese))
- [32] 宋常吉, 李强坤, 崔恩贵. 农田排水沟渠调控农业非点源污染研究综述 [J]. *水资源与水工程学报*, 2014(5): 222-227. (SONG Changji, LI Qiangkun, CUI Engui. Review on regulation and control of agricultural non-point source pollution by use of agricultural drainage ditch [J]. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2014(5): 222-227. (in Chinese))

- [33] GARCÍA-GARIZÁBAL I, CAUSAPÉ J, ABRAHAO A. Influence of irrigation water management on the quantity and quality of irrigation return flows [J]. Journal of Hydrology, 2010, 385(1/2/3/4): 36-43.
- [34] 彭世彰, 高焕芝, 张正良. 灌区沟塘湿地对稻田排水中氮磷的原位削减效果及机理研究[J]. 水力学报, 2010(4): 321-329. (PENG Shizhang, GAO Huanzhi, ZHANG Zhengliang. Effect of pond wetland on N and P removal in drainage water from paddy field and mechanism [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010(4): 321-329. (in Chinese))
- [35] 王沛芳, 王超, 钱进, 等. 自灌自排生态型灌区系统: 江苏, CN201510039013. 4[P]. 2015-01-27.
- [36] 王沛芳, 王超, 钱进, 等. 生态型灌区排水系统湿地净污方法: 江苏, CN201510062568. 0[P]. 2015-02-06
- [37] 王沛芳, 王超, 钱进, 等. 灌区稻田排水沟串联湿地净污系统: 江苏, CN201410036964. 1[P]. 2014-01-26.
- [38] 纪晓华, 汤方平. 灌区灌溉自动化监测系统的设计与研究[J]. 灌溉排水, 2002(4): 53-57. (JI Xiaohua, TANG Fangping. An auto-monitoring system for automatic water manage in irrigation area [J]. Irrigation and Drainage, 2002(4): 53-57. (in Chinese))
- [39] 乔长录. 半干旱地区大型灌区水文生态系统动态监测与综合评价研究: 以陕西省泾惠渠灌区为例[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [40] 樊铭京, 谢清华, 宋玉娟, 等. 作物智能化精准灌溉监测控制技术应用研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2012(2): 85-93. (FAN Mingjing, XIE Qinhua, SONG Yujuan, et al. Application research of monitoring-control technology for cope intelligent precision irrigation [J]. Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science, 2012(2): 85-93. (in Chinese))
- [41] 周海莲, 张军国, 杨睿茜, 等. 基于物联网的精准农业灌溉系统监控软件开发[J]. 湖南农业科学, 2011(15): 169-172, 173. (ZHOU Hailian, ZHANG Junguo, YANG Ruiqian, et al. Development of monitoring software for precisely agricultural irrigation system based on the internet of things [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2011(15): 169-172, 173. (in Chinese))
- [42] 朱洪清, 于利娟, 汪焯欢, 等. 基于物联网的太阳能远程精准灌溉系统的研制和应用[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(2): 246-249. (ZHU Hongqing, YU Lijuan, WANG Yehuan, et al. Development and application of remote precision irrigation system based on internet of things and solar power [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(2): 246-249. (in Chinese)).
- [43] 河海大学. 农田灌区水量监控及调配信息系统: 江苏, 2015SR070151[P]. 2014-09-10.
- [44] 河海大学. 灌区农田肥力及土壤温湿度自动监控系统: 江苏, 2015SR070145[P]. 2014-09-10.
- [45] 河海大学. 农田灌区面源污染监控及预报系统: 江苏, 2015SR070142[P]. 2014-09-23.

(收稿日期: 2015-09-20 编辑: 彭桃英)

## 《水资源保护》高影响力论文名单揭晓

2015年适逢《水资源保护》创刊30周年。为了鼓励高水平论文在《水资源保护》上发表,进一步提升《水资源保护》的学术质量和影响力,《水资源保护》主办单位河海大学和中国水利学会环境水利专业委员会决定对2005—2014年《水资源保护》高影响力论文作者进行表彰。

### 2005—2014年最具影响力论文1篇:

吴建强, 阮晓红, 王雪: 人工湿地中水生植物的作用和选择, 发表在《水资源保护》2005年第1期(截至2015年10月15日, 被引次数: 190次, 下载次数: 2408次)

### 2013—2014年高影响力论文2篇:

唐克旺: 水生态文明的内涵及评价体系探讨, 发表在《水资源保护》2013年第4期(截至2015年10月15日, 被引次数: 15, 下载次数: 428)。

崔东文: 支持向量机在水资源类综合评价中的应用; 以全国31个省级行政区水资源合理性配置为例, 发表在《水资源保护》2013年第5期, (截至2015年10月15日, 被引次数: 17, 下载次数: 40)。

(本刊编辑部供稿)