

文章编号:0559-9350(2019)01-0088-09

## 我国灌区建设及管理技术发展成就与展望

高占义

(中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

**摘要:** 新中国成立70年来,我国灌区建设与管理取得了举世瞩目的成就,农田灌溉面积由1949年的1593万 $\text{hm}^2$ 发展到2016年的6714万 $\text{hm}^2$ ,位列世界第一,保障了我国粮食安全供给和社会经济发展。我国灌区建设与管理已经历了三个大的发展阶段,依靠科技进步解决了发展过程中出现的各种问题,使我国灌区建设与管理水平逐步得以提升。今后的30年将是我国实现灌区现代化的时期。本文较系统介绍了我国灌区发展概况、灌区建设与管理技术进展和成就、灌区面临的主要问题和挑战、以及灌区现代化发展展望。

**关键词:** 灌区建设; 灌区管理; 灌溉技术; 灌溉用水管理; 灌区现代化

**中图分类号:** S274.3

**文献标识码:** A

**doi:** 10.13243/j.cnki.slxb.20180900

## 1 我国灌区发展概述

我国处于受季风影响较大的气候区,农业生产对灌溉的依赖程度高。在诸多影响农业生产的因素中,灌溉是最主要的因素。灌溉农田的粮食产量比雨养农田的产量高1~3倍。因此,灌区发展对保障我国粮食安全、农村社会经济发展和农民增收具有十分重大的意义。

灌区由灌溉水源工程、灌溉排水渠、沟及控制建筑物和量测水设施系统及灌溉农田组成。灌溉水源工程是灌区的首部枢纽,按取水方式可分为蓄水灌溉、引水灌溉、提水灌溉、蓄引提结合灌溉。灌溉系统的功能是将灌溉水源引取的灌溉水输送、配置到农田和其他用水户。灌溉输配水系统分为渠道系统及管道系统,有些情况下,是由渠道和管道共同组成的混合式输配水系统。田间灌溉方法和技术包括畦田灌溉、沟灌、格田灌溉、淹灌、波涌灌、涌泉灌、喷灌、微喷灌和滴灌等技术。排水系统的功能是排除灌区多余降水和灌溉回归水、控制地下水位。灌区的建设与管理包括水源工程、输配水工程、田间灌溉工程和排水工程的建设与管理<sup>[1]</sup>。

从1949年新中国成立至今,我国的灌区发展大致可分为三个阶段:

第一阶段为1949年至1979年30年的大规模工程建设时期,我国农田灌溉面积从1949年的1593万 $\text{hm}^2$ 发展到1980年的4889万 $\text{hm}^2$ <sup>[2]</sup>。

第二阶段为1980年至1990年10年的农村土地经营及灌区管理体制改革的时期,这个时期由于投资、投劳的减少我国农田灌溉面积从1980年的4889万 $\text{hm}^2$ 减少到1990年的4839万 $\text{hm}^2$ ,这也是新中国成立以来唯一的农田灌溉面积减少时期。

第三阶段为1990年至今约30年的大力研究推广节水灌溉技术与大型灌区续建配套改造与节水改造时期,这个阶段的重点任务是对已建的灌溉工程进行改造升级和完善,我国农田灌溉面积从1990年的4839万 $\text{hm}^2$ 发展到2016年的6714万 $\text{hm}^2$ 。

经过70年的发展,我国灌区建设取得了举世瞩目的成就,我国灌溉面积约占全世界灌溉面积的

收稿日期: 2018-10-09

基金项目: 中国水利水电科学研究院领军人才项目(GG0145B502017)

作者简介: 高占义(1962-), 博士, 教授级高级工程师, 主要从事灌区用水管理、节水灌溉技术研究。

E-mail: gaozhy@iwhr.com

21%，位居世界首位。截至2016年底，我国灌溉面积为7318万 $\text{hm}^2$ ，其中耕地灌溉面积6714万 $\text{hm}^2$ ，占全国耕地面积的49.6%。全国共建成设计灌溉面积大于2000亩及以上的灌区22689处，灌溉面积3721万 $\text{hm}^2$ ；其中：灌溉面积在50万亩以上灌区177处，灌溉面积合计1234万 $\text{hm}^2$ ；灌溉面积在30万~50万亩的大型灌区281处，灌溉面积合计543万 $\text{hm}^2$ 。

## 2 灌区建设与管理技术进展

我国在灌区建设与管理领域取得了显著的技术进步，科技成果应用为我国灌区建设和管理提供了有力的技术支撑，主要进展与技术概述如下。

**2.1 水源工程及水资源联合调度技术** 我国的灌溉水源主要有地表水和地下水，除了地表水和地下水常规水源，我国灌溉也应用灌区排水和渠道退水，以及渠道和田间渗漏等产生的回归水和再生水及微咸水等非常规水。

灌溉水源工程是灌区的首部枢纽，按取水方式可分为蓄水、引水、提水、蓄引提结合灌溉水源工程。我国共建成各类水库97988座、总库容8581亿 $\text{m}^3$ ；塘坝460万处，窖池690万处，配套农田机电井490万眼，装机容量4950万 $\text{kW}$ ；固定灌溉排水泵站43.4万处、装机容量2716万 $\text{kW}$ 。这些基础设施为我国灌区发展奠定了良好的水源工程基础条件。

我国基于降水、地表水、土壤水和地下水“四水”转化的理论，开发了灌区地表水、地下水联合调度技术，为提高灌溉水资源利用效率和效益、促进水资源可持续开发利用进行了理论探索和应用实践。

灌区水资源利用和水循环涉及到降水、地表水、土壤水、地下水等多物理转化过程，渠道输配水、地表排水及沟道拦蓄、回归水再利用等多个用水环节，以及作物、田间、灌域、灌区等多空间尺度，各物理过程、用水环节和空间尺度相互作用、制约和影响<sup>[3]</sup>。回归水及其重复利用过程往往跨越多个尺度，使得不同尺度水平衡要素对节水的响应表现出复杂非线性特征，进而导致不同尺度节水效果也表现出非线性关系。因此，要正确评估多种措施综合作用下的节水效果，必须从基于“总体输入-输出”的简单影响分析提升到基于“多尺度水循环过程”的复杂反馈研究。近年来，我国对节水的尺度效应进行了深入研究，分析节水、水循环和回归水及其重复利用量与节水效果尺度效应关系链的作用过程，揭示节水尺度效应产生的机理和规律，并基于这一规律选择不同尺度上节水措施，实现以较小的投资获得较大的节水效益。

**2.2 灌区输配水骨干渠系工程技术** 完善的灌区骨干输配水渠系及控制建筑物是灌区实现安全、可靠、高效、及时和经济供水的基础，取得的相关科研成果为渠系建设和改造完善提供了良好的技术选择。

(1)在渠道防渗材料方面，在用混凝土对渠道进行衬砌的基础上，研究利用膜料增加防渗效果。PE、PVC及其改性塑膜具有防渗性能好、质轻、延伸性强、造价低等特点，在渠道防渗工程上获得推广应用。PVC复合土工膜具有竖向防渗、水平导水、透气等多项功能，在弱冻胀地区得到广泛应用。在新型接缝止水材料方面，伸缩缝填料已由最初的沥青砂浆发展到聚氯乙烯塑料胶泥、焦油塑料胶泥。在“九五”期间，研究出冷施工的遇水膨胀橡胶止水带、聚氨酯弹性填料等。在新型防冻害保温材料方面，采用将聚苯乙烯泡沫塑料板铺设于防渗层下，通过保温防治冻害<sup>[4]</sup>。

(2)在渠道断面结构型式方面，在传统的梯形和矩形断面基础上，研究提出了大型渠道采用弧底梯形、弧形坡脚梯形渠，中小型渠道采用U形断面，新型结构型式改善了水流条件和结构受力条件。在渠道防渗衬砌结构型式方面，在微冻胀地区，研究提出利用混凝土肋梁板、楔形板、中厚板、槽形板、空心板等特殊结构型式减轻冻胀破坏；在冻胀严重地区研究提出利用板膜复合、板与换填砂砾料复合、板与保温材料复合、设置冻胀变形缝等技术进行渠道冻胀防治。在施工机具方面，我国从1970年代末开始研究U形渠道施工机械，相继研究开发出U形渠道和梯形渠道开渠机、U形渠道衬砌机、大中型U形渠道喷射法施工和小型U形渠道预制构件生产设备。

(3)在渠道冻胀破坏机理与防治理念方面,在不断总结工程实践经验的基础上,在理念上从“抵抗”冻胀逐步转变为“适应、削减或消除冻胀”的冻害防治理念,归纳出“土、水、温、力”是冻胀产生的必要条件,提出了冻胀预报模式和基土冻胀性分类方法,进而研究提出了埋入法、置槽法、架空法等回避冻胀的措施,置换、隔热保温、化学处理、压实基土、隔水排水等削减冻胀的措施,以及通过结构优化设计来适应、回避冻胀或局部抗冻胀的措施。

### 2.3 低压管道输水及田间灌溉技术

(1)在低压管道输水技术方面,1985年以来我国在机井灌区和有条件的渠灌区研究推广应用低压管道输水技术,在“七五”国家重点攻关项目中,把管道输水技术的研究列为灌溉排水技术研究专题的重点。研制出了用料省、性能好的刚性薄壁塑料管和内光外波的双壁塑料管;开发了多种类型的当地材料预制管及相应的制管机具;现场连续浇筑、无接缝整体成型的混凝土管施工机械和施工工艺;研制了多种与管道配套的管件设备和保护装置。技术进步推动了我国低压管道输水工程设计能力提升、技术标准制定,以及PVC、UPVC、PE等不同材质、不同规格的管道和管件的产业化大发展,为低压管道输水技术大面积推广应用奠定了基础<sup>[5]</sup>。

(2)在田间灌溉技术方面,畦灌、沟灌是我国主要的灌溉方式,“九五”以来我国开展了大量改进地面灌溉技术的研究工作,结合研究推广应用激光控制平地技术、波涌灌溉技术、田间闸管灌溉技术确定合理的畦田规格、沟灌的长度和断面尺寸,把过去单纯研究灌水技术要素对灌水均匀度、水分深层渗漏的影响,转向综合研究多种灌水技术要素组合对土壤水肥运移和水肥利用效率的影响,根据不同区域的土地特征和种植作物优化确定地面灌溉技术要素,从而提高灌溉均匀度和水肥利用效率。在水稻种植区研究推广“薄、浅、湿、晒”控制灌溉技术,不但实现了节水、节肥,还提高了水稻产量,减少了稻田化肥和农药的流失及面源污染物排放。

(3)在喷灌技术方面,我国引进、研制开发出了PY系列摇臂式喷头、全射流喷头、喷灌泵、快速拆装薄壁铝管和镀锌薄壁钢管及管件,轻、小型喷灌机组,绞盘式、滚移式、中心支轴式和平移式喷灌机。开展了喷灌系统规划设计理论和方法研究以及技术标准制定。

(4)在微灌技术方面,在引进国外滴灌和微喷技术的基础上,国家科技计划立项开展滴灌带生产线国产化研制工作,取得了良好的成果,目前国产滴灌管生产线在整体性能方面达到国际先进水平。随着国产滴灌管生产技术的提高、生产成本大幅度降低,滴灌技术在棉花、番茄、蔬菜及葡萄等经济作物灌溉中获得了大面积推广应用。

(5)在节水灌溉技术与农艺结合方面,我国把滴灌技术与地膜覆盖技术有机结合,创造性研究形成了膜上、膜下滴灌技术,这项技术在新疆、内蒙古、甘肃和宁夏等干旱地区获得大面积推广应用,用于棉花、土豆、番茄和玉米种植区,取得了显著的节水、增产和省工效益。由于滴灌技术可以实现精准灌溉,在应用滴灌的种植区把滴灌技术与灌溉制度优化技术紧密结合,实现了亩次灌水定额少、灌水次数多的优化灌溉制度,与水肥一体化技术相结合,实现精准同步灌溉与施肥,大幅度提高了作物单产<sup>[6]</sup>。

**2.4 农田排水技术** 农田的田面积水时间持续较长会使作物受淹,危害作物生长,形成涝灾。我国地域辽阔,南北差异很大,涝灾有内涝和外洪之分。易受涝害的农田一般分布在河道中下游平原区、沿江滨湖圩垸区、临海地区、大江大河出口的三角洲以及山区、丘陵区的谷地。农田积水来自本地地区的降雨,如灌排系统内部或圩区内河控制范围内的降雨径流所造成的灾害称为内涝,即一般概念中的涝灾;因江、河、湖、库水位猛涨,堤坝漫溢或溃决,使客水入境淹没作物而造成的灾害则为外洪,即一般概念的洪灾。有些灌区洪涝并存,危害尤其严重。涝灾除受外江(湖)洪水位制约外,还受局部降雨量、除涝能力和积水时间长短等因素的制约,因此涝灾比洪灾更为复杂而且频繁。

新中国成立以来,我国开展了大规模的农田涝害防治工作,农田涝害的治理是以水利技术措施为先导,结合农业、林业等技术措施进行综合治理,并加强管理,提高运行调度的水平。主要技术措施有:①提高农田防洪水平。治洪是除涝的前提。在洪涝并存的地方,必须按照洪涝分治、防治结合、因地制宜、综合治理的原则。增强抵御外水侵袭能力,整治骨干排洪河道,扩大洪水出路,

巩固防洪堤防与水库大坝,同时积极搞好水土保持工作。②建立完善的农田排水系统,有效控制降雨产生的地面径流,减轻或消除农田受内涝的影响。排水系统的功能是排除灌区多余降水和灌溉回归水、控制地下水位。③采取综合措施提高治涝效果。调整农业布局 and 合理利用水土资源,在低洼易涝区,选种耐淹或喜水的耐涝作物,以增强农田抗涝能力;平整土地,消除易产生积水的局部洼地,或将排水困难、修建排水工程代价过高的局部洼地划作蓄涝养殖区;合理施肥,改善土壤结构,增强表土入渗能力;采用生物排水措施,扩大排水除涝作用。④加强管理。提高灌排工程的联合调度及运行管理水平,汛前结合灌溉用水,预降沟河水位,提高土地容蓄雨水的能力,相应减少地面径流量,尤其是在遭遇强降雨情况下,能够减轻地面积水对作物的危害;汛期根据雨情和涝情的发展变化,适时采取灵活有效的调度运行方案。⑤稻区利用稻田滞涝减灾。加强水稻区节水灌溉的实施,在不显著影响水稻高产的前提下尽可能多的蓄存雨水以提高降雨利用率,最大限度发挥稻田调蓄功能,实现涝水滞蓄、水资源高效利用、节水减污等多重功效。

除了涝灾外,我国许多灌区还受渍害的影响,渍害是因地下水位过高、且历时较长,导致土壤过湿透气性不足而形成低温、积水和缺氧,从而对作物生长产生危害。在治渍技术措施方面,我国形成了建立完善的排水系统,通过排水调控地下水位,再配合相应的农业技术等综合技术措施,能够达到治渍和获得高产的效果。具体技术措施包括:①降低地下水位,防止渍水危害。通过农田排水工程控制地下水位,使地下水位降到防渍的适宜深度,保证作物不受渍害;②调节水气比例,改善土壤环境。按治渍要求降低地下水位,不仅可调节根层土壤的水气比例和温度,排除土壤中的有毒物质,而且能够达到改善土壤环境的效果;排水治渍的工程技术措施有:明沟排水、暗管排水、竖井排水、鼠道排水等,视各地的技术经济条件,因地制宜地采用<sup>[7]</sup>。

我国农田排水技术从明沟排水向明沟与暗管相结合排水模式过渡,广泛利用塑料管道及新型合成过滤材料,研制开发新型排水施工设备,研制成功多种型式的开沟铺管机和无沟铺管机等,极大地提高了施工速度和质量。农田排水技术研究转向涝渍碱兼治和排水再利用等多目标综合治理,由单一工程技术模式转向多种措施综合集成,由单一的水量、水位控制调节到水量、水位、水质控制、污染防治、环境保护等相结合的综合技术。近10多年来对农田排水条件下减少氮污染的农艺、管理、工程等措施和预测评价软件方面做了大量的研究和实际应用,广泛采用计算机模拟软件评价排水系统对水环境的影响。

近10多年来对农田排水条件下减少氮污染的农业措施、管理措施、工程措施和预测评价软件方面做了大量的研究和实际应用,开发应用计算机模拟软件评价排水系统对水环境的影响。

据第一次污染源普查公报,农业面源污染已经成为我国流域性水体污染的重要来源。种植业TN、TP排放量占农业源污染物排放总量38%、59%。灌区农业面源污染控制是我国流域性水体污染控制与治理的关键途径。灌区生态灌排系统构建是控制灌区农业面源污染、保障灌区水环境与水生生态安全的重要技术措施,也是全面落实我国“水污染防治行动计划”、水利部水生态文明建设和灌区节水减排工作,解决灌区“最后一公里”污染防治的重要途径。生态沟新技术综合集成应用了农田面源截留生态岸坡及河床构建技术、面源截留洼陷湿地系统构建技术、水生生物净化技术和生物接触氧化技术。生态沟不但可以截留处理农田面源污染物,还可以美化环境,促进生态灌区的建设<sup>[8]</sup>。

**2.5 灌区水位水量监测技术** 灌区量水是灌区用水管理重要的基础工作,我国开展了实用测量技术研究,取得的成果可归纳为两大类:①水位-流量关系测量技术,利用堰、槽、孔口建筑物,测量渠道中某一点或两点的水位,根据水位与流量关系,由水位计算流量。在水位测量技术方面,在传统的水尺和浮子式水位计基础上研发应用了水位自动记录仪、压力式水位传感器、雷达水位计、超声波水位计、视频水位监测技术等。②流速-流量关系测量技术,渠道和管道流量可以用旋浆或旋杯流速仪和超声波流速仪来测量。旋浆或旋杯流速仪是通过旋转来标定单点流速,超声波流速仪是通过测量声音信号传递的时间来得出通过一个断面的平均流速,用测量的流速与过流断面计算流量。近些年,超声波流时差法速仪在灌区量水上获得了验证和应用。编制并修订了《灌溉渠道系统量水规范》。

**2.6 灌区信息化管理技术** 我国于2002年启动大型灌区信息化建设试点工作,在全国选定了少量灌区开展了信息化试点工作。开发集成应用的灌区信息化技术包括实时的水情、雨情、工情信息、作物需水状况等信息监测、数据传输系统和灌区管理信息系统技术。灌区信息化技术的研究、集成和应用为灌区管理人员及时掌握灌区水资源状况、工程运行状况、作物生长状况、用水户对水资源的需求状况等提供了高效的手段和工具,使灌区水资源调配更具科学性和合理性,促进水资源开发、利用和保护的良好循环及可持续发展。灌区管理信息系统的建成应用,在提高灌区自身管理水平和工作效率,更好地服务于用水户的同时,用水户也可以通过信息查询了解灌区的工程情况、管理及供水政策、水资源管理、用水及水费等情况,实现互动,提升了灌区的公众影响力和用水户的参与积极性,促进灌区更好地为农业生产和城镇生活及生态供水服务。但是,我国灌区的信息化程度还很低,监测设施严重不足、缺乏统一的标准,与发达国家有较大的差距<sup>[9]</sup>。

**2.7 灌区管理体制机制改革** 在灌区管理体制机制改革方面,我国灌区积极探索实现灌区良性循环的可持续管理途径,推进灌排设施管理专业化、规范化,建立良性运行机制。骨干工程实行专管机构管理,小型灌排设施推进农民用水合作组织参与管理。专业化管理经费由政府财政资金支持,按照定岗定员规范化运行,小型灌排设施由农民自己承担,主要通过水费来解决,政府给予补助。目前,我国灌区正在全面推进农业水价综合改革、农田水利设施产权制度改革和创新运行管护机制试点、农民用水合作组织多元化发展以及农业用水水权制度改革等。灌区管理体制和机制的改革促进了灌区逐步实现财务收支平衡和灌溉工程的可持续利用和管理<sup>[10]</sup>。

**2.8 标准化建设与管理** 为了规范灌溉与排水工程建设与管理,我国编制了大量的相关规程、规范和导则等技术标准。为了在工程建设和管理中应用新技术、新材料、新方法及时组织修订升级有关技术规范。灌溉与排水建设与管理方面的主要技术标准有:《灌区规划规范》(GB/T 50509-2009)、《灌区改造技术规范》(GB 50599-2010)、《灌溉与排水工程设计规范》(GB50288-99)、《高标准农田建设通则》(GB/T30600-2014)、《防洪标准》(GB50201-2014)、《渠道防渗工程技术规范》(GB/T 50600-2010)、《节水灌溉工程技术规范》(GB/T50363-2006)、《微灌工程技术规范》(GB/T50485-2009)、《渠道防渗工程技术规范》(GB/T 50600-2010)、《治涝标准》(SL 723-2016)、《灌溉渠道系统量水规范》(GB/T21303-2007)、《泵站设计规范》(GB/T50265-97)、《灌溉与排水渠系建筑物设计规范》(SL 482-2011)、《大型灌区技术改造规程》(SL 418-2008)等30多项技术标准<sup>[11]</sup>。

**2.9 生态恢复与治理** 在我国灌溉与排水事业发展过程中,由于灌排发展规模和布局不当引发了一些生态问题。我国针对灌溉发展出现的生态问题,采取了相应的技术措施进行恢复与治理。对于由过量引水灌溉造成土地次生盐碱化问题,加大排水工程建设,利用明沟和暗管进行排水,发展井渠结合的灌排系统<sup>[12]</sup>。针对由上游过量引水发展灌溉面积造成下游生态退化问题,在核定区域水资源总量的基础上加强了灌溉用水管理,通过推行总量控制、定额管理的方式控制灌溉用水总量和亩次灌水量,推广节水灌溉技术和实行阶梯水价等体制机制改革措施实现农业灌溉节水。针对部分地区过量抽取地下水发展灌溉引发的大面积地下水下降问题,通过推广节水灌溉技术和农艺节水措施、应用非充分灌溉技术、调整种植机构、减少高耗水作物种植面积等措施减少地下水开采。针对一些地区推广应用渠道衬砌等节水措施引发的渠道周边树木枯死和下游湿地水量减少、水质退化问题,采取了综合评估节水效益以及可能产生的生态问题,选取适当的节水技术和措施,综合考虑生态环境用水和水循环过程,发展适度的节水工程规模,同时制定水权制度保证生态用水量不被挤占,通过水权交易鼓励推广应用节水技术和措施。把在灌溉用水总额范围内通过应用节水和措施节约下来的水用于生态建设或其他用水效益好的部门<sup>[13]</sup>。

**2.10 灌区状况评估方法** 开展灌区现代化改造首先要对灌区的状况进行全面系统的评估,了解存在的问题,以便有针对性地制定灌区现代化改造规划方案。“十一五”国家科技支撑计划“大型农业灌区节水改造工程关键支撑技术研究”项目对灌区状况诊断评价技术与方法进行了系统的研究,提出了我国灌区状况评价需考虑的因素,综合考虑灌区状况评价所涉及的内外因素,提出了灌区状况评价指标的定量化分析评估方法,筛选出了灌区状况评价指标,构建了反映灌区水土资源状况、工程状况、

灌溉效率效益情况、灌区管理及生态环境状况的综合评价指标体系(包括39个评价指标),以及反映灌区内部管理服务水平、灌溉渠系和建筑物等硬件设施状况的细部评价指标体系(包括31个主指标)。编制了大型灌区状况诊断指南,开发了灌区状况评价诊断系统<sup>[14-15]</sup>。

### 3 灌区面临的主要问题和挑战

虽然我国从1996年至今的20多年实施了大型灌区续建配套与节水改造工程,主要解决大型灌区骨干输水工程、泵站及闸门等关键工程设施存在的问题,取得了显著的成效,但灌区还面临如下主要问题和挑战<sup>[16]</sup>。

(1)灌区设施配套依然不全。全国约40%的大型灌区、50%~60%的中小型灌区、50%的小型农田水利工程设施依然不配套,大型灌排泵站设备完好率不足60%。

(2)灌区灌排标准依然不高。全国10%以上低洼易涝地区排涝标准不足3年一遇,部分涝区治理不达标。早涝保收田面积仅占耕地面积30%左右,高标准农田所占比例很小。

(3)灌溉试验研究等基础监测设施不足。自1950年代以来,我国比较系统的开展了灌溉试验工作,通过广大灌溉试验工作者的共同努力,取得了大量的灌溉试验数据和科研成果,这为全国及地方的水利工程,特别是灌溉工程的规划、设计和管理以及水资源的优化配置提供了科学依据,为科学决策做出了重大贡献。但由于认识、资金和技术等方面的原因,1980年代以来我国灌溉试验站设备老化和人员流失的现象十分严重,导致灌溉试验站点不断萎缩,严重影响了灌溉试验工作的开展。我国灌区水位、水量等信息监测设施不足,难以对灌溉用水效率和效益进行准确的计算和评估。灌溉试验工作对于农业节水的科学决策和进行灌区现代化改造具有十分重要的意义。

(4)区域地下水利用不合理。地下水是我国重要的灌溉水源,全国农业灌溉地下水取水量666亿m<sup>3</sup>左右,约占全国农田灌溉总取水量的19%。部分地区由于过度开采地下水发展农业灌溉,造成了地下水位持续下降。黄淮海平原是我国地下水资源开发利用中出现问题最多的区域,地下水超采严重,超采区面积87 854 km<sup>2</sup>,占全国超采区总面积的48.2%;地下水的超采对农业灌溉和生态环境造成了严重影响。主要表现在:①地下水持续下降、形成大面积地下水漏斗,部分地区含水层被疏干;②海水入侵与水质恶化;③超采区发生地面沉降、裂缝和塌陷;④提水费用增加、含水层枯竭、机井报废;⑤天然植被衰退,生态环境恶化;⑥由于超采区地下水位低于临近地区,不仅灌区地表水带来的盐分无法外排,邻区地下水中的盐分也向超采区聚集,造成地下水矿化度增加、土壤盐渍化加剧等一系列生产和环境问题。

(5)灌溉水价较低,灌区难以实现良性运行管理。全国农业水价仅为供水成本的30%~50%,25%左右大型灌区、65%左右中型灌区未核定成本水价,水费实收率不足70%,超过40%的灌区管理单位的运行经费得不到保障,造成农田水利工程管理主体难以落实、管理责任无法履行。

(6)灌区信息化管理技术应用不足。我国从2002年开展了灌区信息化建设试点,灌区信息化建设中取得长足进展,但灌区信息化基础设施建设与灌区现代化管理发展的要求还存在较大的差距。目前灌区信息监测和运行监控能力和水平尚不能满足灌区管理需要,制约了灌区采用科学、系统和现代化的管理手段提高灌区管理水平。

(7)灌区管理劳动强度大成本高。在信息化自动化建设不够完备的情况下,各级水管人员陷入频繁来回奔波于各个闸控点、计量点之间实施管控;管理设施的操作和运行记录还是以手工为主,造成了管理用工多、劳动强度大、管理水平和工作效率低下、运行管理成本高等问题。

(8)保障粮食安全和国家现代化建设对灌区发展提出了新的更高要求。我国是一个拥有13多亿人口的大国,立足国内解决好吃饭问题始终是治国安邦的头等大事。必须加快农田水利设施建设,与国家现代化发展进程同步推进灌区现代化建设,着力提高农业综合生产能力和农业产出效率。

(9)缓解水资源供需矛盾和推进生态文明对灌区用水管理提出了更高的要求。目前,中国农业多年平均缺水约300亿m<sup>3</sup>,部分地区农业用水粗放、效率不高,以及地下水超采和生态用水被挤占等

问题突出。

(10)城镇化和农业现代化发展对灌区现代化管理提出新的更高要求。中国农村经济社会结构正发生深刻的变化,农村劳动力老龄化趋势明显,农业生产规模化、现代化是发展的大趋势,将对灌区供水服务提出更高的要求。灌区管理单位需要用现代化的管理技术提高灌区管理水平,有效降低劳动强度,提高劳动生产率。

(11)应对全球气候变化提高农业抗旱减灾能力对灌区提出了更高要求。受气候变化影响,极端干旱灾害对农业生产影响不断加剧。必须夯实农业发展的灌区基础设施,提高农业供水保障程度,增强农田灌排工程设施有效应对气候变化、抵御干旱灾害的能力。

#### 4 灌区现代化发展展望

自1949年新中国成立以来,经过前述三个阶段的发展,我国灌区大规模建设和卡脖子关键工程续建配套改造时期已经基本结束。70年来我国灌区建设和管理取得了巨大的成就,为解决我国粮食安全和农业农村社会经济发展发挥了巨大的作用。但是也还存在许多问题,我国灌区的管理水平和信息化、自动化、智能化程度与发达国家有较大的差距。在灌区渠系及节制闸、分水闸等建筑物硬件设施方面还需要进一步提升完善,以便提高灌区的运行安全性、可靠性和高效性,加强灌区量水设施、信息化和自动化测控设施、智能化管理软件系统的建设,以便提高灌区用水管理的精准性、灵活性和公正性。通过灌区现代化提高灌区水资源的优化配置水平、提高工程运行管理水平、提高灌溉用水利用效率与效益、提高单位劳动力效率、减少管理用工和管理费用、降低管理成本、控制农业面源污染、改善生态环境。

党的十九大提出,中国特色社会主义进入新时代,分两个阶段来进行国家现代化建设。第一个阶段,从2020到2035年,在全面建成小康社会的基础上,再奋斗15年,基本实现社会主义现代化。第二个阶段,从2035年到2050,在基本实现现代化的基础上,再奋斗15年,把我国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国<sup>[17]</sup>。实施乡村振兴战略的目标任务是,到2020年乡村振兴取得重要进展,制度框架和政策体系基本形成;到2035年乡村振兴取得决定性进展,农业农村现代化基本实现;到2050年,乡村全面振兴,农业强、农村美、农民富全面实现。最近发布的《乡村振兴战略规划》提出要加快农业现代化步伐,推动新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展。灌区现代化是农业现代化的重要组成部分,从2020年到2050年的30年将是我国灌区百年发展的第四阶段,即灌区现代化管理的建设时期。

灌区现代化是对灌溉工程设施和管理水平进行逐步升级改造的过程,需要在研究编制灌区现代化改造整体规划方案的基础上,采用工程、技术和管理综合技术和措施,全面提升灌区运行管理水平。通过灌区现代化提高灌区水资源的优化配置水平、提高工程运行管理水平、提高灌溉用水利用效率与效益、提高单位劳动力效率、减少管理用工和管理费用、降低管理成本、控制农业面源污染、改善生态环境。为农业灌溉和其他用水户提供安全、可靠、高效、灵活、公平和可持续的供水服务。

灌区现代化管理技术需在灌区工程管理中充分研究应用现代信息技术、计算机技术、自动化控制技术和人工智能技术等现代科学技术,提高信息采集和处理的准确性、传输的时效性、分析的科学性、应用的可靠性和实用性,做出及时、准确的预测、决策、调度和反馈,实现集信息采集-处理-决策-信息反馈-监控为一体的系统调度<sup>[18]</sup>。目前正在开展的研究工作包括:

(1)高效信息采集、传输及服务系统。灌区的核心业务是用水管理,以高效信息自动采集传输为基础,通过对信息采集传输基础设施设备的改造和建设、配置先进的适合灌区特性的仪器设备,提高信息采集、传输、处理的自动化和智能化水平,提高信息采集的精度和传输的时效性,形成较为完善的信息采集体系,为灌区管理工作提供更好更准确的信息服务。

信息监测与服务系统是在信息采集传输系统采集信息的基础上,通过对监测信息的接收处理,

实现对用水管理有关数据信息进行分析与整理,为灌区决策支持系统及管理人员提供灌区气象、水情、墒情、工情、闸位等用水管理相关的信息服务。

(2)智慧灌区管理决策支持系统。智慧灌区管理决策支持系统是根据灌区的土壤墒情、作物需水量、气象预报等信息,以及灌溉水源和渠系、控制建筑物、蓄水设施等硬件的状况和特征,利用数学和计算机模型,分析提出灌溉优化配水方案和渠系及其控制设施的优化运行方案,为决策者提供多角度、可选择的水量配置和输配水系统调度方案。决策管理支持系统是智慧灌区的核心,需要各种相关信息及模型技术的集成应用。

(3)灌区自动化控制系统。灌区是由取水引水枢纽、输配水渠系、节制闸及分水闸、调节水库等建筑物组成的复杂供水系统。用传统人工控制的方法难以对这个大系统进行安全、及时、高效、精准、经济的运行管理。灌区管理人员根据智能化管理决策支持系统形成的调度方案,选择实际可行调度方案,生成调度指令,自动控制系统根据调度指令对灌区渠系上的控制建筑物,如分水闸、节制闸等设备运行进行自动控制,完成灌区的用水调度,并对控制、反馈和结果等调度过程进行实时监视和记录,实现灌区智能化控制管理。

在灌区现代化管理发展理念方面,灌区既是一个灌溉农业生产系统,也是一个人工和自然相结合的生态系统,需对灌区的生态价值进一步深入研究。随着我国经济社会快速发展,许多灌区功能由过去单纯为农业灌溉供水发展为既为农业灌溉供水也为城镇生活和工业、生态环境供水,并兼有防洪除涝等的多用户、多功能和多目标的复杂工程系统。这对灌区工程的现代化改造和运行管理标准提出了更高的要求。

我国有都江堰等运用了数千年的古代灌溉工程,这些工程蕴含着丰富的自然哲理和科学思想,其建筑结构型式体现出人们对自然规律的认识、尊重和合理利用,是人与自然和谐共生的典范。现代科学技术的发展和应用使我们拥有更加先进的设计、建设及管理技术及手段。在我国灌区现代化管理建设进程中应将蕴藏在古代灌溉工程中经过历史检验的科学理念、智慧与物联网技术、自动化和智能化技术、灌溉排水、渠道水力学、生态环境保护等技术措施有机结合,实现灌区工程和用水的智慧、安全、可靠、高效、精准、经济和生态环境可持续管理,为我国农业现代化建设提供强有力的技术支撑。

## 参 考 文 献:

- [1] 水利部农村水利司. 新中国农田水利史略[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [2] 水利部. 全国水利发展统计公报[R]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017.
- [3] 刘路广, 崔远来. 灌区地表水-地下水耦合模型的构建[J]. 水利学报, 2012, 43(7): 826-833.
- [4] 冯广志, 周福国, 季仁保. 渠道防渗、衬砌技术发展中的若干问题与建议[M]//渠道防渗技术. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [5] 高占义. 我国农田水利发展及技术推广应用[J]. 水利水电技术, 2010, 41(12): 8-14.
- [6] 高占义, 许迪. 农业节水可持续发展与农业高效用水[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [7] 岳卫峰, 杨金忠, 董菊秀, 等. 干旱地区灌区水盐运移及平衡分析[J]. 水利学报, 2008, 39(5): 623-626.
- [8] 韩振中. 大型灌区现代化建设标准与发展对策[J]. 中国农村水利水电, 2013(7): 69-71.
- [9] 王超, 王沛芳, 侯俊, 等. 生态节水型灌区建设的主要内容与关键技术[J]. 水资源保护, 2015, 31(6): 1-7.
- [10] 倪文进. 以灌区节水改造促进灌区管理体制变革[J]. 中国水利, 2009(11): 15-16.
- [11] 窦以松. 二十一世纪最新节水灌溉技术标准应用指南[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [12] 张蔚榛, 张瑜芳. 地下水的超采对农业灌溉和环境的影响及其对策[M]//农业节水可持续发展与农业高效用水. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [13] 杨龙, 高占义. 灌区建设对生态环境的影响[J]. 水利发展研究, 2005, 5(9): 19-23.
- [14] 高占义, 高本虎. 大型灌区状况诊断评价指标体系研究[J]. 中国水利, 2008(21): 43-44.

- [ 15 ] 杜丽娟, 刘钰, 雷波. 灌区节水改造环境效应评价研究进展[J]. 水利学报, 2010, 41(5): 613-618.
- [ 16 ] 水利部农水司. 中国灌排发展有关情况介绍[Z]. 2018.
- [ 17 ] 中共中央, 国务院. 乡村振兴战略规划(2018-2022年)[Z]. 2018.
- [ 18 ] 樊玉苗, 高占义. 关于我国现代化灌区发展方向的思考[C]//海峡两岸农田水利学术交流论文集. 2017.

## Technical achievement and prospection in irrigation scheme development and management in China

GAO Zhanyi

(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

**Abstract:** Since the foundation of the People's Republic of China in 1949, remarkable achievement has been realized in the development and management of irrigation schemes during the last 70 years. The irrigated farmland has been developed from 15.93 million ha in 1949 to 67.14 million ha in 2016. With the largest irrigated farmland in the world the irrigated agriculture in China has guaranteed the food security and social economic development for China. The construction and management of irrigation schemes in China have experienced 3 main stages, and various problems have appeared and have been gradually solved with the progresses of science and technology. Next 30 year is the period to realize the modernization of irrigation schemes in China. This paper presents the general introduction on irrigation scheme construction and management in last 70 years, achievement and technical progress, the main problems and challenges and the projection for the modernization of irrigation schemes in next 30 years in China.

**Keywords:** Irrigation scheme development; irrigation scheme management; irrigation technology; irrigation water management; irrigation scheme modernization

(责任编辑: 祁 伟)

---

(上接第 87 页)

## Progresses and challenges in the study of Eco-fluvial Dynamics

FANG Hongwei, HE Guojian, HUANG Lei, LIU Yan, HAN Xu, ZHAO Chenwei

(Department of Hydraulic Engineering, State Key Laboratory of Hydro-science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The construction and operation of large-scale hydraulic projects cause significant changes in the hydrodynamics and sediment transport in the rivers and lakes, which not only bring about riverbed evolution, but also variations in the interactions among water, sediment and nutrients/pollutants. Accordingly, the bed biofilms, phytoplankton/zooplankton, zoobenthos and aquatic plants in the aqueous environment are also changed. In this paper, the concept and theoretical framework of Eco-fluvial Dynamics are proposed, and the relevant research progresses are reviewed, including the physical processes of turbulence, sediment transport and micro-morphology, chemical processes of nutrients and pollutants transport, and the responses of biological processes in the water and at the bed surface. The coupling between the fluvial dynamics and biological/chemical processes are discussed, and the challenges of multi-disciplinary and multi-scale faced by the study of Eco-fluvial Dynamics are further proposed.

**Keywords:** Eco-fluvial Dynamics; sediment transport; biological and chemical processes; interactions

(责任编辑: 李福田)