

# 我国灌溉现代化技术与设备

谢崇宝 张国华

灌溉现代化是指通过灌溉技术设施革新和体制机制改革, 不断提高灌溉供水服务的安全性、公平性、可靠性和灵活性水平, 不断提高灌区劳动力资源和水资源的使用效率, 持续保障灌区节水省工增效的过程。本文重点从输配水现代化、田间灌水技术现代化、灌溉管理现代化等方面介绍我国灌溉现代化技术与设备。

## 输配水现代化

### 1. 输配水工程

灌溉输配水系统主要指将水源通过渠道或管道及其附属建筑物向农田供水的工程系统, 主要包括渠道、管道以及闸门、渡槽、泵站、涵洞、隧洞、倒虹吸、跌水、机耕桥、人行桥等配套建筑物与设备。长期以来, 农田灌溉系统都是采用渠道(明渠)输水和配水, 形成灌溉渠道系统, 这种系统主要适于地面灌水技术如沟灌、畦灌和淹灌等的需要。而19世纪以来随着喷灌、滴灌、微喷灌等新的灌水方法的出现, 古老的渠道输配水系统迎来了新的发展机遇, 而且随着管道生产技术的进步, 我国“七五”以来也逐步采用管道输水, 形成低压管道输水地面灌溉系统。加之农业机械化的发展, 越来越广泛地采用管道系统输水和配水, 以节省农田、便利机耕。总体而言, 输配水工程可分为灌溉渠道系统和灌溉管道系统两种。渠道系统通常分为干渠、支渠、斗渠、农渠四级; 管道系统通常分成干管、支管、毛管三级, 由输配水管网、控制设施和灌水设施三部分组成。管道输水具有节水、省时、省工、省地、灌水及时、增产增效、省电、便于管理和机耕等优点。

当输配水系统建成之后, 渠系上的各级测控建筑物及其运行调度是影

响供水服务质量的关键因素。从灌溉现代化的理念出发, 传统输配水系统的现代化改造升级, 应主要体现在对渠道的防渗衬砌以减少输水损失, 对闸门或闸阀的信息化改造以提高调度质量、减少劳动强度、契合灌溉需求, 这些措施可不同程度实现节水和省工的双重功效, 是灌溉现代化的重要措施之一。

### 2. 全渠道控制系统

澳大利亚研发的全渠道控制系统在我国渠道控制输水中得到了应用。全渠道控制系统包括测控一体闸现地控制系统、智能控制中心管理系统、需求管理系统和用水户申请系统。该系统通过计算机对整个灌区或部分灌域的输配水模拟, 实现对渠系网络的水量调配和全局控制。作为该系统关键设备的测控一体闸, 是闸板、参数测量、能源供应和数据通信为一体的自动控制闸门, 以太阳光为动力, 节能环保, 为缺电地区的使用创造了条件。从满足作物灌溉需求的角度来看, 它将传统的输配水控制系统改进为能够实现“按需供水”同时兼具输水、蓄水和配水的一体化输配水控制系统, 基本实现供水服务的安全、公平、可靠和灵活, 符合服务改善、效率提高、运转持续的灌溉现代化特征。

测控一体闸是全渠道控制系统的核心设备, 理论上讲, 它是顶面可调的溢流堰。该闸为标准化工厂生产, 集上下游水位监测、闸门开度监测、闸门控制于一体, 现场安装简便易行。从水力学原理上有必要对渠道输配水闸门的配置进行分析。对分水口而言, 一方面期望上游来水尽量保证水位的稳定, 另一方面, 期望下游配水流量尽量稳定。分析堰流和孔流的流量公式可知, 当上游流量增加1倍时, 堰前水位只增加1.6倍, 而闸前水

位却需要增加4倍, 因此, 堰流具有很好的稳定水位功能, 而孔流具有很好的稳定流量功能, 理想的配置是节制闸采用堰流而配水闸采用孔流。但传统的堰流无法灵活调节堰顶高度, 实际应用中不得已仍采用闸孔代替堰流。若采用测控一体闸作为节制闸来改造现有的渠道输配水系统, 则能实现最理想的堰闸配置取水模式, 即可稳定干支渠的输水水位, 也可稳定支斗渠的取水流量。

## 田间灌水技术现代化

田间灌水技术是灌溉现代化的重要环节。常见的田间灌水技术可分为地面灌水技术、喷灌技术和微灌技术3大类。地面灌水技术包括淤灌、淹灌(又称格田灌溉)、畦灌、沟灌、漫灌、管灌等, 喷灌技术包括管道式喷灌技术和机组式喷灌技术, 微灌水技术包括滴灌、微喷灌、小管出流和渗灌等。田间灌水技术更能体现灌溉现代化的成效, 技术的选择和应用应因地制宜, 合理确定。

### 1. 改进地面灌水技术

在地面灌水技术方面, 波涌灌溉、覆膜沟灌、田间间管灌水技术、激光平地技术、控制性交替灌溉、水稻控制灌溉技术等具备灌溉现代化的部分特征, 在此统称为改进地面灌水技术。

①波涌灌溉。波涌灌溉是一种新型的地面灌水技术, 它采用大流量、快速推进、间断地向沟(畦)放水的灌水方式。这种灌水方式能使地表形成致密层, 土壤的这种表面边界条件的变化使得土壤入渗率和地面糙率减小, 有利于提高灌水效率与灌水均匀度。“九五”期间中国水利水电科学研究院等开发生产了波涌灌溉设备并取得了专利, 该设备自身具有配水和

控制两大功能,控制器具有“时间耦合”特性,有利于地面灌水自动化的实现,设备外形结构和性能指标被鉴定为达到国际同类产品的先进水平,填补了国内空白。

②覆膜沟灌。覆膜沟灌是在地膜覆盖栽培技术的基础上发展起来的一种新的地面灌水方法。它是将地膜平铺于沟中,沟全部被地膜覆盖,灌溉水从膜上(膜上沟灌)或膜下(膜下沟灌)输送到田间的灌溉方法。膜上沟灌技术适合在灌溉水下渗较快的偏沙质土壤上应用,可大幅度减少灌溉水在输送过程中的下渗损失。膜下沟灌适宜在水分下渗较慢的偏黏质土壤上应用,地膜可以减少土壤水分蒸发并可保持土壤温度和抑制杂草生长,但地膜的过量使用也会带来白色污染等问题。

③田间闸管灌溉。低压管道输水技术从管道出水口到田间还需要一段垄沟输水,如采取相应的配套措施可取得更好的节水效果。针对这一问题,中国水利水电科学研究院研发了田间闸管灌溉系统。该系统可替代毛渠完成田间配水,通过调节输水软管上的闸阀开度来控制进入沟(畦)的流量,田间闸管灌溉系统这种特性,适用于不同土质和不同规格的沟畦,可大幅度提高灌水的均匀度,投资少,耕地省,使用简单,具有较好的节水效益。

④激光平地技术。激光平地技术是目前世界上最先进的土地精细平整技术。激光平地技术能减少田间灌排渠系占地,可较大范围实现田块的高精度平整,从而提高农机具的作业效率。但从本质上讲,它是灌溉现代化特别是地面灌水现代化的辅助技术,能够达到节约灌溉水、提高肥料利用率、增加作物产量的效果。

⑤控制性交替灌溉。控制性交替灌溉技术被认为是近年节水灌溉领域的重大技术突破。控制性交替灌溉的操作依据是通过不同时间向作物部分根系供水,以创造作物根系供水的不

均匀性,诱导作物抗旱生理生态特性的发挥。该技术能够在一定程度上挖掘作物本身的节水潜力,并已在部分作物的应用中产生了较好的效果。目前应用比较广泛的是按水平方向将作物根系分为两个部分,在不同时间轮换向两部分供水。试验研究中也有将作物根系在垂直方向上分为不同部分,在不同时间供水,实现节约灌溉用水的目的。

⑥水稻控制灌溉技术。“薄、浅、湿、晒”灌水技术是水稻控制灌溉技术中较为常见的一种,是指在秧苗本田移栽后的各生育期,田面基本不再长时间保持水层。试验成果表明,“薄、浅、湿、晒”灌溉制度具有省水增产、促进作物正常生长、增强作物生理活动能力的优点,是一种有推广价值的灌水方法,能够较大幅度节约水稻灌溉用水量。

## 2. 传统喷微灌技术

①管道式喷灌。目前使用的管道式喷灌系统通常有两类,一是固定管道式喷灌系统,二是移动式、半固定式管道喷灌系统。固定管道式喷灌系统是目前最常用的喷灌系统,由于具有适应性强、技术简单的特点,以及具有节水、节能、省工和增产等优点,广泛用于露地蔬菜及其他经济作物的灌溉。但固定管道式喷灌系统不利于机耕,尤其是在平原地区,田间的立管对田间机械化作业有妨碍,耕作时经常碰坏出地桩。移动式、半固定式管道喷灌系统虽然投资较省,适应田间耕作,但搬运困难,尤其是刚刚喷过的土壤,容易造成伤苗和破坏土壤。随着农村劳动力的转移,其应用逐步受到制约。

②绞盘式喷灌机。绞盘式喷灌机是众多喷灌机械类型中的一种,喷灌均匀度高。其喷头车依靠拖拉机在田间牵引移动,拖拉机的牵引造成田面庄稼的碾压,导致庄稼减产,农民减收,在经营规模较小的区域,挫伤了农民使用喷灌技术的积极性。另外,此种喷灌机械在装卸、运输与转场

时,费时费力,增加了劳动强度,降低了工作效率,也在一定程度上限制了绞盘式喷灌机的大规模推广应用。

③中心支轴式喷灌机。中心支轴式喷灌机是一种自动化程度很高的节水灌溉设备,按行走驱动力可分为水力驱动、液压驱动和电力驱动等多种形式,其中电力驱动圆形喷灌机在国内外被广泛使用。中心支轴式喷灌机灌溉大田作物有节水、节能、节地、省工、增产、适应性强等优点,几乎适于灌溉各种质地的土壤,以及各种大田作物、经济作物和牧草等。目前大多数大型喷灌机上的金属零部件采用热浸镀锌钢材制作而成,这种制作工艺虽然具有耐酸碱腐蚀、设备使用寿命长等优点,但热浸镀锌工艺会污染环境。

④微灌技术。微灌是按照作物需求,通过管道系统与安装在末级管道上的灌水器,将水和作物生长所需的养分以较小的流量,均匀、准确地直接输送到作物根部附近土壤的一种灌水方法。典型的微灌系统通常由水源工程、首部枢纽、输配水管网和灌水器等4部分组成。它包括地表滴灌、地下滴灌、微喷灌和涌泉灌等4种主要类型,具有节水、省工、节能、灌水均匀、适应性强的特点,但频繁更换微灌设施会造成劳动力的紧张和设备的损耗。

## 3. 地理式自伸缩一体化喷滴灌系统

传统的喷滴灌技术在有效解决节水的同时,部分设施设在机械化耕作和收获的背景下出现了新的问题,而且部分技术在实际操作过程中也需要耗费大量的劳动力。为有效解决影响耕作和收获及劳动强度大等问题,中国灌溉排水发展中心组织研制了地理式自伸缩一体化喷滴灌系统。目前该技术设备主要包括3大类新产品:滴(管)灌专用自动伸缩取水器,工作过程如图1所示;喷灌专用自动伸缩取水器,工作过程如图2所示;地理式自伸缩一体化喷灌设备,工作过程如

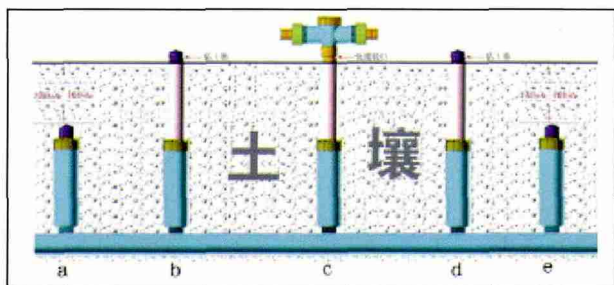


图1 滴(管)灌专用自动伸收取水器工作过程

a为非灌溉状态,b为灌溉伸出地面状态,c为连接滴(管)灌系统状态,d为停止灌溉卸下滴灌系统状态,e为灌溉结束后回缩至非灌溉状态

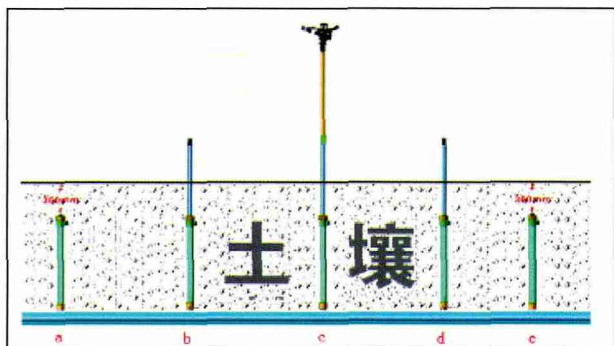


图2 喷灌专用自动伸收取水器工作过程

a为非灌溉状态,b为灌溉伸出地面状态,c为连接喷灌系统如立杆及摇臂式喷头状态,d为停止灌溉卸下喷灌系统状态,e为灌溉结束后回缩至非灌溉状态

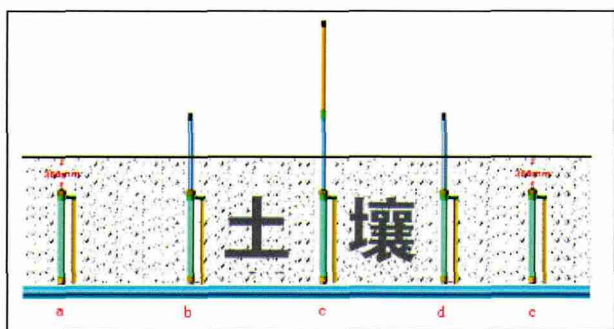


图3 地埋式自动伸缩一体化喷灌设备工作过程

a为非灌溉状态,b为灌溉伸出地面状态,c为灌溉状态(无需任何连接及拆卸),d为停止灌溉状态,e为灌溉结束后回缩至非灌溉状态

喷滴灌设备。该技术设备包括4类新产品:一是自驱动集成式一体化喷灌机,二是自驱动集成式一体化滴灌机,三是自驱动多功能一体化喷滴灌两用机,四是铝合金轻便型中心支轴式喷灌机。其中,自驱动多功能一体化喷滴灌两用机和铝合金轻便型中心支轴式喷灌机已获得国家发明专利。

与传统的轻小型喷滴灌机组相比,研发的自驱动集成式一体化喷灌机、自驱动集成式一体化滴灌机、自驱动多功能一体化喷滴灌两用机,灵活方便地集成于电动三轮车之上,创新地采用了电动牵引方式,实现首部系统的可移动功能,整机集成度高,简便实用,既可直接接入现有的输水管网上,也可就地取水实现喷滴灌功能,尤其适合抗旱使用。与传统的中心支轴式喷灌机相比,研发的铝合金轻便型中心支轴式喷灌机,采用新型铝合金材料作为输水管道,可使用太阳能驱动,支撑点设计在连接法兰处,结构新颖;整机重量轻,能耗低,运行可靠。这些产品已于2014年通过水利部组织的新产品鉴定,经鉴定委员会认定,产品总体上达到国际先进水平。该系列产品已在全国多处示范工程中成功应用,取得了良好的抗旱等社会效益。

## 灌溉管理现代化

灌溉现代化不仅包括技术设施的革新,也应包括管理体制机制的创新。按作物需要供水意味着必须把握作物需水规律和监测土壤含水量,并采取适当的调度措施把需要的水量及时送到田间。为保障这种灌溉方式的可持续性,必须创新灌溉管理体制和运行机制。

### 1. 田间墒情监测技术与设备

土壤墒情监测主要为灌区的农业灌溉和科学用水管理服务,同时也为上级主管部门掌握灌区用水动态提供数据支持。组成土壤墒情信息测报系统的设备包括:传感器、遥测终端机通信设备、计算机、外设电源以及避

图3所示。

与传统给水栓取水相比,喷滴灌专用取水设备埋设于耕作层以下,在水压作用下自动伸出地面,避免人为破坏,有利于田间耕作,并能满足田间滴灌、喷灌、管灌等不同灌溉方式的供水需求。地埋式自动伸缩一体化喷灌设备埋于耕作层以下,不影响耕作;集成出地管、竖管、升降式喷头于一体,同时具有喷水和顶出功能,无需寻找田间出水口位置;喷灌作业前及作业后均不需要再安装或拆卸任何设施,灌溉结束后又能回缩至耕作层以下,无需田间套管或专用设施保护,大大减轻了劳动强度,提高了工

作效率。该产品已于2013年通过水利部组织的新产品鉴定,经鉴定委员会认定,产品总体上达到国际领先水平。其中,地埋式自动伸缩一体化喷灌设备获得国家发明专利,该系列产品已在全国多处工程中成功应用,取得了良好的经济效益和社会效益,对推动节水灌溉和灌溉现代化发展具有重要的作用。

### 4. 自驱动多功能一体化喷滴灌设备

适应于我国目前土地经营方式,为有效解决分散农户小规模田块的高效节水灌溉问题,中国灌溉排水发展中心组织研制了自驱动多功能一体化

雷装置等。墒情主要是监测土壤含水量，有时也根据需要监测土壤含盐量和温度等参数。墒情监测由于其“以点代面”和成本较高等问题而很难大规模推广应用。目前的监测技术主要包括电导率测量法、时域反射和中子测量法等。定量监测仪器有电子土壤湿度仪、针式土壤湿度仪、时域反射仪。定性监测方法可通过卫星或雷达监测地表面植物生长情况，判断地表墒情变化。烘干法主要用于墒情固定站，其主要特点是简单易行，投资不高，且有足够的精度，是检验其他方法测试结果的基础。电测法主要用于墒情监（巡）测站。目前国内外使用较多的电测仪器有电子土壤湿度仪、探针式湿度仪、时域反射仪等。墒情遥测系统包括无线模块、土壤水分传感器、数据采集器及数据显示软件。根据实测土壤含水量对土壤墒情预报值进行修正和对土壤水分进行动态模型预报，修改和补充灌溉计划，结合灌区水源状况和工程能力，实现灌溉和抗旱决策的及时性和准确性。

## 2. 作物需水估算及田间气象站

作物需水量是指作物在适宜的土壤水分和肥力条件下，经过正常生长发育，获得高产时的植株蒸腾、株间蒸发以及构成植株体的水量之和。计算作物需水量的方法，可归纳为两类，一类是直接计算出作物需水量，另一类是通过参考作物需水量计算实际作物需水量。在估算作物需水量时，若缺乏应有的气象资料或灌溉试验资料，可以根据全国作物需水量等值线图来分析作物蒸发蒸腾量。为了方便缺乏气象资料和实测作物蒸腾蒸发量地区对计算作物需水量的需求，国际水管理研究院利用分布在全球范围内的3万多座气象站的数据资料并借助卫星遥感（RS）、地理信息系统（GIS）等高科技手段建立了全球水资源和气象图集。该图集能查询指定地区逐月、逐年降雨、温度、湿度、日

照时数、蒸发、风速以及蒸发蒸腾量等，可作为初步估算区域作物需水量的方法和手段。

有条件的地区建议安装田间气象站，实时监测气象数据，为估算作物需水量提供更加准确的依据。灌区内设立的田间气象站，气象要素应纳入灌区决策管理系统中，为田间作物需水的智能化灌溉提供支撑。田间气象站主要用来观测田间局部小气候的变化，应优先采用自动气象站实时监测，建议采用七要素即温度、湿度、风速、风向、降雨、蒸发、日照等气象因子。除特殊要求外，自动气象站可设置为每小时记录一组数据，并以此为基础计算各项因素的日平均值。

## 3. 灌区管理信息化

灌区管理信息化是实现灌区现代化的必要支撑手段，灌区用水管理信息化是灌区管理信息化的核心。灌区用水管理信息化建设最主要的任务是实现用水调度决策的信息化、科学化，达到节水、高效的目的。基本思路：建成以灌区用水管理信息采集与渠系建筑物监测监控系统为基础、通信和计算机网络平台为支撑、灌区综合数据库和决策支持系统为核心的灌区用水管理信息化系统工程，提高灌区用水信息采集、传输、处理自动化程度，降低灌区管理成本，全面实现灌区优化调度和现代化管理，最终促进灌区“节水、省工、增效”，同时也提高灌区供水服务水平，显著改善供水服务的安全性、公平性、可靠性和灵活性，更好地为农村和农民服务。通过总结、分析、实践、提炼，完成灌区用水管理信息化需求分析。灌区用水管理信息化建设任务包括5个方面，即灌区识别技术、水情监测技术、信息通信技术、闸门控制技术、水量调度技术，通过上述5个方面的高效融合与组装集成，在来水预报模型、需水预报模型、水量优化调配模型等专业软件的支持下，为灌区管理

者提供决策依据，实现灌区水资源的高效利用和优化配置。

## 4. 灌区管理体制机制创新

灌溉现代化的持续运转和不断进步，必须依靠灌区管理体制和运行机制的创新。良好的管理体制机制有利于灌溉现代化的健康发展和持续进步。因此，在推进灌溉现代化的过程中，必须充分发挥群众的主动性和创造力，尊重和保护农民及其合作组织的首创精神，积极探索建立“机制先行，以改促投”的灌溉项目启动激励机制、因地制宜推行“以奖代补”或“先建后补”灌溉项目建设机制、及时足额落实灌区维修养护和人员经费的运行保障机制；加快推进农业水价综合改革，完善农业水价形成机制，推行超定额累进加价办法，实现灌区水资源的优化配置和高效利用，协调推进管护主体培育和基层水利服务体系等工作，增强灌溉现代化，为农业增效和农民增收提供长期的制度保障。

## 结 语

本文综合考虑我国的国情和水情以及生产力发展水平，较为系统地总结提炼了现有的灌溉现代化技术与设备。总的来说，灌溉现代化是一个不断发展的过程，它不仅指设施的革新，更为重要的是树立“以人为本、节水优先”的服务理念，并围绕这个理念开展灌区的体制机制改革与创新，任何单纯以提高劳动力资源或水资源利用效率的措施并非真正意义上的灌溉现代化，两者必须兼顾，才能真正实现灌溉的高效化。概括而言，灌溉现代化就是一个不断改进供水服务的过程，不断追求劳动力的解放，不断追求水资源的高效利用，不断促进生产力发展的过程，因此，灌溉现代化的有关技术与设备也应是在不断的发展过程中。■

（作者简介：谢崇宝，中国灌溉排水发展中心，教授级高级工程师；张国华，中国灌溉排水发展中心，高级工程师）