

节水型灌区灌溉制度设计及配套设施优化研究

李 兵

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]我国农业灌溉用水量在全社会用水量中占有很高的比例,传统灌区因用水效率偏低、设施老化、管理方式粗放等相关问题,造成水资源浪费严重,对农业的可持续发展造成影响。基于此,设计节水型的灌区灌溉制度,构建从水源、输配水到田间用水的全链条管理体系,从而提高水资源高效利用,推动农业节水增效,促进灌区的高质量发展,为不同类型灌区的现代化改造提供技术支撑与实践参考。

[关键词]节水型灌区;灌溉制度;设施优化;输配水防渗;灌溉水利用系数

DOI: 10.33142/ect.v4i2.19182

中图分类号: S274.1

文献标识码: A

Research on the Design of Irrigation System and Optimization of Supporting Facilities for Water-saving Irrigation Areas

LI Bing

Hebei Water Resources and Hydropower Investigation, Design and Research Institute Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Agricultural irrigation water consumption in China accounts for a high proportion of the total water consumption in society. Traditional irrigation areas suffer from serious water resource waste due to low water efficiency, aging facilities, and extensive management methods, which have an impact on the sustainable development of agriculture. Based on this, design a water-saving irrigation system for irrigation areas, establish a full chain management system from water sources, transmission and distribution to field water use, which improving the efficient utilization of water resources, promoting agricultural water-saving and efficiency improvement, promoting the high-quality development of irrigation areas, and providing technical support and practical reference for the modernization transformation of different types of irrigation areas.

Keywords: water-saving irrigation area; irrigation system; facility optimization; water transmission and distribution anti-seepage; irrigation water utilization coefficient

引言

随着人口的增长、经济发展等因素的影响,水资源短缺日益凸显,已经成为制约我国农业可持续发展的关键瓶颈。在我国农业用水中灌区作为核心载体,节水能力不仅影响国家粮食安全,而且与水资源安全紧密相连。传统灌区多采用粗放配水,大水漫灌的灌溉方式,在当前水资源日益紧张的形势下,造成大量的水资源浪费。另外,在灌溉期间因缺乏精准的用水控制与管理,系渗漏损失率高,大量水分在输送和灌溉环节渗漏、蒸发,田间水利用系数不足 0.7,而且也会降低土壤质量,对农作物的生长造成一定的影响。除此之外,不合理的灌溉用水排放会造成水体的污染,对周边的生态环境造成破坏。推进节水型灌区建设成为目前农业水利工作中的重点任务,通过采用先进的灌溉技术、管理模式以及配套设施系统优化,能够提高水资源在灌溉以及排水等各个环节中的高效合理应用,实现节水、增产、生态效益的统一。目前,现有研究对灌区节水开展了一些研究,也取得了一些成果,但是相关研究仍缺乏统一规范的整体性解决方案,难以形成系统的指导方案。基于此本文意在构建标准化、可落实推广的灌区节

水技术体系,确保节水改造工程具有科学性和合理性,在提高节水改造工程效率与质量的同时,降低改造成本。

1 节水型灌区灌溉制度设计核心理论与原则

1.1 设计核心内涵

灌溉制度作为一项综合性方案,主要涵盖了作物在整个生育周期内的灌溉次数安排、单次灌水定额确定、灌溉时间选定等相关要素。传统的灌溉制度秉持“以丰补歉”的粗放理念,在灌溉决策中,未充分考虑到作物的实际需求情况、土壤水分的动态变化,以及水资源的有限性,这种多基于经验判断的灌溉行为不仅浪费水资源,而且水费生产效率低下。节水型灌区灌溉制度充分考虑作物各生育期的生理特征、土壤中水分的含量以及当地水资源的可获取量和可持续利用程度,通过运用先进的灌溉技术与设备实现适时、适量、精准灌溉,减少无效耗水。其核心目标是既要保障住户能够正常生长发育,维持稳定的产量,而且通过优化灌溉方案,提高灌溉水利用系数,减少灌溉过程中的水分损失,实现水资源集约高效利用。

1.2 设计基本原则

(1) 需水适配原则:充分围绕作物不同生育阶段的

需水敏感性实施差异化的供水, 优先保障需水关键期的水费供应, 非关键期的合理控水, 为了避免无效灌溉情况的发生, 使用非充分灌溉模式:

(2) 水资源约束原则: 以区域的水资源可利用总量作为上限, 依据灌溉设计的保证率统筹地表水与地下水联合调度, 严格管控地下水超采以及地表水过度开发, 实现水资源供需平衡;

(3) 节水高效原则: 优先推广使用节水型高效的灌溉技术, 切实减少输水过程中产生的水量损失与田间耗水;

(4) 因地制宜原则: 依据灌区的地形地貌, 种植的结构, 土壤质地、水源条件等实际情况, 科学合理的制定灌溉制度, 优化灌溉定额, 适配不同灌溉技术模式;

(5) 生态友好原则: 避免过量灌溉引发地下水位上升、土壤盐碱化, 兼顾排水系统配套, 保障农田生态系统稳定。

1.3 灌溉设计保证率确定

灌溉设计保证率是节水型灌区设计的核心参数, 直接决定灌溉制度的可靠性与用水规模, 需结合灌区类型、作物种类、水资源条件确定, 具体标准参照表 1 执行。

表 1 节水型灌区灌溉设计保证率标准

灌区类型	主要作物	灌溉设计保证率 (%)	适用区域
大型旱作灌区	小麦、玉米等粮食作物	75~85	半湿润、半干旱平原区
水稻灌区	水稻	85~95	湿润平原、河谷地区
经济作物灌区	果蔬、油料等经济作物	80~90	设施农业、高效农业区
干旱山丘灌区	耐旱作物、经济林	50~75	干旱缺水、地形复杂山丘区

2 节水型灌区灌溉制度量化设计方法

2.1 作物需水量核算

作物需水量是灌溉制度设计的基础数据, 采用国际通用的 FAO-Penman-Monteith 公式计算参考作物蒸散量 (ET_0), 结合作物系数 (K_c) 核算实际作物需水量 (ET_c), 计算公式如下:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

式中: Δ 为饱和水汽压温度曲线斜率 ($kPa/^\circ C$); R_n 为作物冠层净辐射 ($MJ/m^2 \cdot d$); G 为土壤热通量 ($MJ/m^2 \cdot d$); γ 为干湿表常数 ($kPa/^\circ C$); T 为平均气温 ($^\circ C$); u_2 为 2m 高处风速 (m/s); e_s 为饱和水汽压 (kPa); e_a 为实际水汽压 (kPa); K_c 为作物系数, 分生育初期、中期、后期差异化取值。

作物需水量核算需区分不同生育阶段, 重点标注需水关键期与敏感期, 该阶段需水量占全生育期总量的 60%~70%, 是灌溉制度设计的核心管控节点。

2.2 田间水量平衡分析

以田间土壤水量平衡为核心, 核算作物生育期内有效降水量、土壤储水量、灌溉水量与耗水量的动态平衡关系, 确定灌水定额与灌水周期, 平衡方程如下:

$$W_t + P_0 + I - ET_c - C - K = W_{t+\Delta t} \quad (3)$$

式中: W_t 为时段初土壤储水量 ($m^3/亩$); P_0 为有效降水量 ($m^3/亩$); I 为灌溉水量 ($m^3/亩$); ET_c 为作物需水量 ($m^3/亩$); C 为深层渗漏量 ($m^3/亩$); K 为地下补给量 ($m^3/亩$); $W_{t+\Delta t}$ 为时段末土壤储水量 ($m^3/亩$)。

节水型灌区需严格控制深层渗漏量, 将土壤含水率维持在田间持水量的 60%~80%, 避免过量灌溉, 旱作物灌水定额控制在 30~50 $m^3/亩$, 水稻采用“薄、浅、湿、晒”模式, 缩减泡田定额与生育期灌溉定额。

2.3 节水型灌溉制度制定

充分灌溉制度多应用于水资源较为充足的灌区, 其核心在于满足作物全生育期需水为目标, 通常会根据土壤水分下限指标以及作物的需水规律, 科学合理的制定灌水周期以及灌水次数。这种灌溉制度与传统灌溉方式相比较, 可以降低灌溉定额, 同时, 为了保证田间的水分分布均匀, 也对灌水的均匀度提出了更为严格的要求。地面灌溉均匀度不低于 0.85, 喷微灌均匀度不低于 0.90。

非充分灌溉制度主要适用于水资源紧缺灌区, 核心是“保关键、控一般”, 一在作物水分非敏感的阶段, 适当的减少供水量, 牺牲少量生物量实现大幅节水。灌溉定额较传统灌区缩减 25%~35%, 水分生产效率提升 20% 以上。但是在实际的运用过程中需要对作物缺水敏感指数进行确定, 优先保障拔节、膨果运等关键生育期的水分过硬, 在非关键期可以适当的降低单次灌水量、减少灌水次数从而提高水资源的高效利用。

3 节水型灌区配套设施优化方案

配套设施是灌溉制度落地的核心载体, 优化重点围绕输配水系统、田间灌溉设施、量测与管控设施、排水配套设施四大板块, 实现从水源到田间的输水、配水、灌水、控水全流程节水化、标准化、智能化。

3.1 输配水系统优化

输配水系统渗漏是灌区用水损失的主要环节, 优化核心是全面推行渠道防渗与管道输水替代传统土渠, 提升渠系水利用系数, 具体优化标准如下:

渠道防渗改造: 对于大型的骨干渠道, 建议优先采用混凝土衬砌技术, 严格把控混凝土浇筑的工艺以及材料, 同时, 结合浆砌石防渗措施, 有效减少水分渗透。针对中小型渠道, 充分围绕工程的实际需求以及地区的具体情况, 合理选用 U 型混凝土槽和膜料防渗两种方式。在制作 U 型混凝土槽过程中需要对模具的精度以及混凝土的质量进行严格把控, 选择耐涝性能强, 质量可靠的防渗膜, 特别要注意膜料接缝处的密封处理, 以此可以有效避免渗漏

的风险,防渗渠道渠系水利用系数 ≥ 0.85 ,较土渠提升30%以上。冻胀区域,在渠道底部和边坡铺设保温材料,以此可以防止冻胀力破坏渠道结构。合理控制伸缩缝间距在3~5m,伸缩缝内填充聚硫密封胶等具有良好弹性和防水性能的材料,杜绝冻融破损渗漏。

管道输水替代:地下水灌区、提水灌区、山丘区全面采用低压管道输水,管系水利用系数 ≥ 0.95 ,管材选用PE、PVC等节水耐用管材,管径按设计流量与水力坡降确定,管道布置平顺,减少折点与起伏,配套排气、泄水、调压设施。

渠系建筑物优化:升级改造闸、阀、渡槽、倒虹吸等建筑物,采用一体化智能闸阀,提升配水精准度;消除渠系卡口、瓶颈段,优化断面尺寸,降低水头损失,实现均匀配水、按需配水。

3.2 田间灌溉设施优化

田间设施优化直接决定田间水利用效率,需结合作物类型、地形条件选型,核心是淘汰大水漫灌,推广高效节水灌溉技术,具体选型与优化要求见表2。

表2 田间节水灌溉设施选型与优化标准

灌溉技术类型	适用作物与地形	田间水利用系数	优化核心要点
改进地面灌溉(畦灌、沟灌)	粮食作物、平原区	≥ 0.90	土地平整,畦田长度 $\leq 75\text{m}$,沟长 $\leq 100\text{m}$,优化畦宽沟距
喷灌(固定式、半固定式)	牧草、蔬菜、山丘区	≥ 0.85	控制喷灌强度,避免径流,喷头选型适配作物
微灌(滴灌、微喷灌)	果蔬、经济作物、设施农业	≥ 0.90	配套过滤、施肥装置,毛管布局适配株行距,杜绝堵塞
水稻控制灌溉设施	水稻种植区	≥ 0.95	格田标准化,配套控水闸,实行干湿交替灌溉

3.3 量测与智能管控设施优化

节水型灌区需构建“量水精准、管控智能、调度科学”的管控体系,实现用水可监测、可计量、可调控:

量水设施配套:干支渠口、斗农渠口全面配套量水设施,地表水灌区采用巴歇尔槽、无喉道量水槽,地下水灌区配备射频频卡量水装置,量水误差 $\leq \pm 5\%$,实现分级计量、按方收费。

智能监测系统:布设土壤墒情、气象、水位、流量监测站点,实时采集灌溉核心数据,构建灌区监测网络,为灌溉制度动态调整提供数据支撑。

智能调度系统:搭建灌区智慧管控平台,实现水源调度、渠系配水、田间灌水的一体化智能管控,根据实时墒情、气象数据,自动优化灌溉时间与灌水量,规避人工粗放配水。

3.4 排水配套设施优化

节水型灌区需灌排结合,避免积水与土壤盐碱化,优

化排水系统,实现灌溉回归水再利用:

完善田间排水网,采用暗管排水、明沟排水结合模式,控制地下水位在适宜深度,旱作物区地下水位 $\leq 1.5\text{m}$,水稻区 $\leq 0.8\text{m}$;

排水明沟采用防渗衬砌,减少渗漏损失,收集灌溉回归水,经净化后回用于灌溉,提升水资源重复利用率;

盐碱化灌区增设排盐设施,结合节水灌溉,调控土壤水盐运移,改善土壤质量。

4 节水型灌区优化效益分析

4.1 水资源效益

通过灌溉制度优化与设施改造,节水型灌区灌溉水利用系数大幅提升,大型灌区 ≥ 0.60 ,中型灌区 ≥ 0.70 ,小型灌区 ≥ 0.80 ,管道输水灌区 ≥ 0.85 ;灌溉定额较传统灌区缩减,单方水水分生产效率提升,有效缓解区域水资源供需矛盾,减少地下水开采量,修复地下水生态。

4.2 工程与农业效益

设施优化后,渠系渗漏损失、田间无效耗水大幅减少,工程运行成本降低;精准灌溉满足作物需水要求,作物产量稳定提升,农产品品质改善,农业种植效益显著提高;同时,减少水肥流失,降低农业面源污染,实现生态与农业效益双赢。

4.3 管理效益

智能管控设施的配套,实现灌区用水精细化、智能化管理,改变传统人工管水模式,降低管理人力成本,提升用水调度效率,推动灌区管理从粗放型向集约型、智慧型转变,助力灌区长效运行。

5 结论与展望

5.1 结论

本文系统构建了节水型灌区灌溉制度设计与配套设施优化的通用理论体系,明确了以作物需水规律为核心、水资源承载能力为约束的灌溉制度设计方法,确立了输配水、田间、管控、排水四大设施的优化标准与技术路径。研究表明,节水型灌区建设需坚持灌溉制度与配套设施协同优化,通过非充分灌溉、渠道防渗、高效田间灌溉、智能管控等技术集成,可实现灌溉水利用系数、水分生产效率双提升,灌溉定额、无效耗水双下降,完全契合节水灌溉工程技术规范要求,具备通用性、可推广性。

5.2 展望

未来深化精准灌溉制度动态调控模型研究,研发适配不同场景的低成本、高效率节水设施,强化灌区水资源循环利用研究,推动节水型灌区向生态型、高效型现代化灌区转型。

[参考文献]

[1]田洪江.优化农田水利工程建设管理问题的探讨[J].黑龙江水利科技,2014,42(3):256-258.
[2]衣国胜.乡村振兴背景下农业水利工程管理的原则、现

状及优化对策[J].农村科学实验,2025(23):93-95.

[3]张西宁.水资源优化配置在农田水利工程中的实现研究[J].南方农机,2025,56(18):66-68.

[4]董辛,庄付磊,谢崔越.农田水利工程高效节水灌溉技术的应用分析[J].现代农村科技,2025(11):101-102.

[5]耿心.农田灌溉水渠水利工程施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(29):184-186.

[6]刘朝峰.高效节水灌溉技术在农田水利工程中的应用[J].新农民,2025(28):43-45.

[7]黄春彬.不良工况下水利灌溉工程导流施工技术[J].现代工业工程,2026(2):151-153.

[8]魏亮,张博雄,孙雪峰,等.农业水价综合改革中灌溉用水定额优化与应用研究[J].价格理论与实践,2025(10):210-215.

作者简介:李兵(1988.4—),毕业院校:华北水利水电大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司,职务:职员,职称级别:高级工程师。