

灌区节水改造工程效益衰减原因与提升策略研究

夏依旦·木哈塔尔

塔里木河流域叶尔羌河水利管理中心, 中国·新疆 喀什 843800

摘要: 灌区节水改造是提高农业水资源利用效率、改善灌溉条件以及增强水资源配置能力的重要工程手段, 但由于设施性能退化、运行管理弱化以及用水行为的变化等的影响, 在一些工程建成后其节水效益出现不同程度地衰减现象。针对该问题, 本文分别从工程、管理和用水主体三个方面对效益衰减的原因进行分析总结。研究认为, 工程设施的老化和输配水性能的降低构成了效益衰减的基础, 管护投入不足、管理机制落后以及水资源配置效率低会加剧运行过程中的损耗, 节水激励不足和用水行为偏离降低了工程效益的持续释放。因此需要加强全生命周期管护, 完善协同运行和水资源配置机制并建立健全节水激励约束体系, 从而构建起工程性能维持、管理效能提升和主体行为优化相辅相成的长效工作机制。

关键词: 灌区; 节水改造; 工程效益; 效益衰减; 运行管理; 节水机制

Study on the Causes of Benefit Degradation and Enhancement Strategies for Water-Saving Renovation Projects in Irrigation Districts

Xiayidan Muhatar

Yarkand River Water Conservancy Management Center, Tarim River Basin, China Xinjiang Kashgar 843800

Abstract: Water-saving renovation of irrigation districts is a crucial engineering approach for improving agricultural water resource utilization efficiency, enhancing irrigation conditions, and strengthening water resource allocation capabilities. However, due to factors such as the degradation of facility performance, weakened operational management, and changes in water usage behavior, the water-saving benefits of some projects may experience varying degrees of attenuation after completion. To address this issue, this paper analyzes and summarizes the causes of benefit attenuation from three perspectives: the engineering infrastructure itself, management practices, and the water users. The study concludes that the aging of engineering facilities and the decline in their water conveyance and distribution performance constitute the foundation of benefit attenuation; insufficient investment in maintenance, outdated management mechanisms, and low water resource allocation efficiency can exacerbate losses during operation; while inadequate water-saving incentives and deviations in water usage behavior can hinder the sustained realization of project benefits. Therefore, it is essential to strengthen full-lifecycle maintenance, refine collaborative operation and water resource allocation mechanisms, and establish a robust water-saving incentive and constraint system, thereby building a long-term working mechanism where the maintenance of engineering performance, the enhancement of management effectiveness, and the optimization of user behavior mutually reinforce one another.

Keywords: Irrigation district; Water-saving renovation; Engineering benefits; Benefit attenuation; Operation and management; Water-saving mechanism

0 引言

农业灌溉用水具有规模大、环节多和区域差异显著等特征, 提高灌区水资源利用效率不仅取决于节水设施建设水平, 更受到工程运行状态、管理能力及用水主体行为的持续影响。近年来, 渠道防渗、输配水系统完善及节水灌溉设施建设不断推进, 灌区供水条件与用水效率得到改善。然而, 节水改造并非一次建设即可形成永久稳定的效

益。随着运行年限增加, 设施老化、维护不足、管理机制适配性下降以及节水激励弱化等问题相互叠加, 可能使工程实际效益逐渐偏离设计目标, 形成明显的效益衰减。为此, 本文围绕效益衰减的形成机理及关键影响因素展开分析, 并从工程管护、运行管理和用水激励三个层面提出针对性提升策略, 为灌区节水改造由“建设增效”向“持续保效”转变提供理论参考。

1 灌区节水改造工程效益衰减的形成机理

1.1 工程设施老化与输配水系统性能退化的累积作用

灌区节水改造效益的持续释放依赖渠道、管网、闸门及量测设施保持稳定性能,随着运行年限增加,水流冲刷、地基变形及材料老化持续作用,渠道裂缝、衬砌破损、管道渗漏及设备精度下降等问题逐渐显现,输水损失随之增加。由于各类设施在输水、配水和量水环节具有较强关联性,局部性能退化还会沿系统运行链条扩散,使输配水效率和调控能力同步下降。当设施损耗速度超过维修更新速度时,工程设计形成的技术优势逐步被运行损耗抵消,实际节水量与预期目标之间的偏差不断扩大,最终形成由局部设施退化向系统效能下降累积演化的衰减过程。

1.2 运行管理弱化与工程效能释放不足的传导作用

节水设施的技术性能只有嵌入到一个稳定的运行管理体系中,才可能不断转化成实际的工程效益。当工程投入运行之后,如果管护责任划分不清楚、维护经费得不到保证、水量监测不连续,则无法及时发现并处理设施故障,在长时期内会直接影响输配水系统运行效率低下;与此相伴随的是,调度规则未能得到充分落实,供水计划与实际灌溉需求衔接不紧,造成配水时序、供水数量与作物需水之间存在偏差,导致精准调控设施不能发挥其作用。由此,管理弱化是设施性能损失向综合效益下降传导的一个重要环节,技术条件与管理能力之间的适配程度在逐渐降低,这不仅扩大了工程运行中的损耗,还缩小了节水效能释放的空间,从而加速工程效益衰减。

1.3 用水行为变化与节水效益持续性下降的耦合作用

节水改造所形成的技术节水能力是否能够稳定地转化成区域的节水成效,还依赖于用水主体对于水资源约束和节水制度的行为响应。在工程改造提高了供水稳定性并减少了输水损失之后,如果缺乏有效的用水总量控制、计量收费以及节水激励,则用水主体根据其生产的收益来改变灌溉次数、灌溉定额或者种植结构,而产生的新的用水需求就会抵消一部分工程节水效果;如果节水设施的操作管理和维护不到位,在末端灌溉中仍然存在无效用水。已有研究表明,从工程保障、水资源利用、管理服务以及综合效益等方面建立灌区高质量发展的评价体系,说明了灌区运行绩效是一个系统的、多维的概念^[1]。据此,用水行为的变化并不是独立的作用于节水成效上,它同时与设施性能退化、运行管理弱化以及资源配置效率变化相联系,并使得技术节水能力和实际用水约束之间出现偏差,导致工

程环节形成的效率改善无法完整的转换到整个灌区的整体耗水中去,从而成为节水效益不断衰减的一个重要内在原因。

2 灌区节水改造工程效益衰减的关键影响因素

2.1 工程建设质量与设施维护投入不足对基础效能的制约

工程建设的质量决定了节水设施投入运行之后的基础性能,是影响改造效益稳定程度重要的前置条件之一。一些灌区在施工过程中存在着对材料性能控制不够严格、施工工序衔接不规范、质量验收偏重于形式等现象,容易导致渠道衬砌强度不高、管网连接稳定性较低、量测设施精度有限,在工程投入使用之初就存在一定的性能损耗问题。当进入到长期运行期时,由于缺乏足够的维修养护资金支持、投入结构不合理、日常巡检频次低等原因,使得细微破损或设备故障无法得到及时处理,设施劣化的程度随着运行时间的增长而不断加深。农村水利设施的有效供给除了取决于工程本身的品质外,也受制于组织体系、责任配置与治理制度的影响,一个稳定的治理结构可以为设施维护与长期运行提供制度保障^[2]。由此看,管护主体的责任弱化与组织协同不足会使因维护投入不足带来的效能损失被进一步扩大,建设质量缺陷与后期管护不足相叠加,最终会导致设施有效运行周期变短,并降低工程的基础效能。

2.2 管理机制滞后与水资源配置效率偏低对运行效能的削弱

在灌区节水改造从工程建设阶段进入常态化的运行之后,其管理机制和工程技术体系是否相适应直接关系到设施功能能否实际发挥作用。一些灌区仍然采用较为粗放的管理模式,管理主体职责边界不明确,在供水调度、计量管理和设施管护之间缺少有效的衔接,容易导致责任落实到位以及运行信息传递滞后等问题。根据 2024 年中国水资源公报数据可知,我国农业用水量达到 3648.4 亿 m^3 , 占比用水总量的 61.6%, 耕地灌溉亩均用水量为 342 m^3 , 农田灌溉水有效利用系数为 0.580, 较大的农业用水规模及现有的灌溉水利用水平说明,水资源配置精度和运行管理水平仍然是影响节水效益的因素之一。在这种情况下开展数字孪生灌区的研究,更加强调了水情监测、需水分析、调度决策以及工程控制之间的连续衔接,来提高水资源配置的精细化水平^[3]。如果供水计划依然依靠经验和主观判断,并未充分利用区域水量、作物需水以及灌溉时序等条件进行合理安排,则很容易出现供需配置偏差的情况,使得节水设施所具有的精准调控的优势无法充分发挥出来,

从而降低工程运行效率。

2.3 节水激励不足与用水主体行为偏离对综合效益的消解

用水主体的行为选择是技术节水成果转化为综合效益的重要影响变量,受制于水价机制、计量方式和收益预期以及节水约束强度等多种因素。如果农业水价不能体现水资源稀缺程度,计量收费得不到严格执行,节水奖励和超额用水约束没有得到有效衔接,则很难让用水主体形成稳定的节水内在动力,在节水设施改善了供水条件之后还会出现灌溉定额增加、灌水次数上升等行为偏离现象;如果节水设施的操作管理和使用不够规范,那么在末端灌溉中仍然会出现无效用水的现象。一些研究也证实了农户参与式的灌溉管理对农田灌溉设施治理有显著影响,用水主体参与的程度与设施维护、运行协同和治理绩效有着密切的关系^[4]。因此主体参与不足也会导致末端节水效果减弱,使得工程环节形成的节约技术效率改善无法稳定地转化为区域的实际节水量,进而造成经济、资源和管理等方面的综合效益被消解。

3 灌区节水改造工程效益提升策略

3.1 强化全生命周期管护体系以延缓工程设施效能衰减

对于因工程建设质量问题与后期缺乏有效维护而造成的基础效能损失问题,在规划设计、施工建设、验收移交、运行维护乃至更新改造过程中均需提出相应的管护要求,并形成贯穿于整个工程的工程质量控制和资产管护措施。在建设期间,要细化对渠道衬砌、管网连接、闸门控制和技术量测设施的技术标准,加强重要工序检查和竣工验收工作;在运行期间,根据设施类型、运行年限和损耗情况制定分级巡检、定期检修和适时更新制度。

河南省人民胜利渠灌区从 2016 年开始进行标准化管理建设,在日常运行中落实工程管理的的要求,并针对突出的问题不断整改和完善管理机制,2024 年成为全国首批、河南第一个通过水利部标准化管理评价的灌区,提升了工程设施完善程度、安全管理规范性以及供水管理效率。这表明在完成工程建设后,工程改造后的效益维护不能止步于建设验收阶段,而是要依靠常态管护和持续整改来降低设施性能损耗,让维修资源能够合理的分配到关键薄弱环节上,以达到延缓工程的有效运行时间的目的。

3.2 完善协同运行管理机制以提升水资源配置与工程运行效率

对于管理主体职责衔接不畅以及水资源配置效率低等

问题,则需要围绕供水计划、工程调度、水量计量和设施管护等建立权责清晰、信息互通的协同运行机制,使得管理制度与节水工程技术体系具有较高的适配程度。从管理上厘清灌区管理机构、基层用水组织和用水主体在运行维护和供水管理方面的责任分工,健全任务分解、信息反馈和绩效考核制度;从水资源配置方面结合灌区可供水量、作物需水规律、种植结构和灌溉时序,动态调整供水计划和配水方案,并加强取水、输水、配水和田间用水数据之间衔接。关于如何实现现代化数字灌区的研究中指出,要将水量监测、工程控制、供水调度、运行管理和信息服务等功能纳入到一个统一的应用体系之中来,从而提升不同业务环节之间的协同能力^[5]。因此要进一步强化运行数据共享和管理功能集成,提高调度决策、资源配置和工程执行一致性,让节水设施技术能力能够稳定地转化成实际运行效果。

3.3 健全节水激励约束机制以促进工程效益稳定释放与持续提升

对于因节水动力不足以及用水行为偏离而产生的综合效益损失,则应该把价格调节、用水定额、计量管理和节水收益分配等纳入到一个制度体系中来,让用水主体能够切实感受到水资源的成本和节水带来的收益。在考虑农业生产承受能力和水资源稀缺性的前提下,通过合理的用水定额设定,以准确计量为基础,对定额内的用水形成稳定的预期价格,对超定额用水加强成本约束,并根据节水量大小、用水效率高低、管护参与情况等因素进行差异化的激励。有研究指出,农业水价综合改革要实现的价格调整、精准补贴、节水奖励与用水管理需要形成相互衔接的制度组合,仅靠水价调节无法有效激发节水行为^[6]。因此还需要明确水量核算、费用收取和节水奖励的标准,使得经济激励与制度约束之间形成稳定联系,鼓励用水主体主动改变灌溉方式和用水规模,从而促进工程形成的节约技术潜力更加有效地转化成资源、经济和管理综合效益。

4 结语

灌区节水改造工程效益衰减不是单个设施损坏造成的,是工程性能、运行管理和用水行为在长时间内相互影响的结果。其中,设施的老化和缺乏必要的维护会直接影响输配水效率,管理机制落后或水资源配置不合理的状况会影响工程运行效果,节水激励不足可能会导致用水主体的行为偏离,使得技术节水的优势无法稳定地转化成综合效益。因而在提高效益的过程中,不能仅停留在对设施进行修复上,需要建立涵盖建设、运行、维护和用水调控在

内的全过程治理体系,并从加强全生命周期管护、完善协同运行机制和完善节水激励约束制度入手,促进工程效能、管理效能和行为效能共同提升,以期延缓效益衰减,增强灌区节水改造工程的持续运行能力。

参考文献:

[1] 杨盛贇,王洁,彭亚敏等.灌区高质量发展判断准则与评价指标研究[J].中国农村水利水电,2023(6):236-241+248.

[2] 王丽惠.治理型中间组织:农村水利有效供给的组织与制度逻辑[J].山东农业大学学报(社会科学版),2024,26(4):87-95.

[3] 谢崇宝,白静,郑世宗等.数字孪生灌区建设核心要义与关键技术探讨[J].中国农村水利水电,2024(11):179-

184+195.

[4] 穆月英,张博.农户参与式灌溉管理对农田灌溉设施治理的影响——来自黄淮海粮食主产区种植户的实证[J].农村经济,2025(5):26-35.

[5] 谢崇宝,白静,张武雄等.现代化数字灌区建设主体功能及主要应用结构体系探讨[J].中国农村水利水电,2024(4):141-145+151.

[6] 马海燕,王薇,黄乾等.深化农业水价综合改革的机制创新与实践路径——基于山东省“十大模式”的实证研究[J].水利发展研究,2026,26(4):32-39+48.

作者简介:夏依旦·木哈塔尔(1991-),女,维吾尔族,新疆柯坪,本科,文章方向:水利工程。