

# 灌区节水改造中渠道防渗技术优化构建研究

陈庆

新疆塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心库塔干渠管理站

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6692

**[摘要]** 渠道渗漏是水资源无效消耗的主要形式,防渗技术优化构建对灌区节水降耗增效至关重要。本研究聚焦灌区渠道防渗技术现存问题,深入剖析传统技术局限性,系统阐述防渗技术优化构建的目标与原则。重点提出渠道防渗技术的系统优化策略,涵盖新型材料科学选配、断面与结构精细化设计、施工质量全流程精准管控、信息化智能化监测技术融合应用等多个维度。研究成果旨在为灌区节水改造工程提供技术先进、经济可行、易于推广的渠道防渗解决方案,显著提升灌溉水利效率,缓解水资源压力,支撑区域农业绿色高质量发展。

**[关键词]** 渠道防渗技术; 节水改造; 优化构建; 灌区工程

**中图分类号:** S155.4+4 **文献标识码:** A

## Research on the Optimal Construction of Channel Seepage Control Technology in Water-saving Renovation of Irrigation Districts

Qing Chen

Kutagan Canal Management Station of Kaidu Kongque River Water Conservancy Management Center in the Tarim River Basin, Xinjiang

**[Abstract]** Channel leakage is the primary form of ineffective water consumption, and the optimization and construction of anti-seepage technology are crucial for water conservation, consumption reduction, and efficiency enhancement in irrigation areas. This study focuses on the existing issues of channel anti-seepage technology in irrigation areas, deeply analyzes the limitations of traditional technologies, and systematically expounds the objectives and principles of optimizing the construction of anti-seepage technology. It highlights the systematic optimization strategies for channel anti-seepage technology, covering multiple dimensions such as the scientific selection of new materials, refined design of cross-sections and structures, precise control of construction quality throughout the entire process, and the integrated application of information and intelligent monitoring technologies. The research results aim to provide technologically advanced, economically feasible, and easily scalable solutions for channel anti-seepage in irrigation area water conservation and renovation projects, significantly improving irrigation water use efficiency, alleviating water resource pressure, and supporting the green and high-quality development of regional agriculture.

**[Key words]** channel seepage prevention technology; water-saving renovation; optimization and construction; irrigation district project

### 引言

我国是水资源相对匮乏的国家,农业用水占总用水量比例较高,然而灌区输水系统渗漏损失问题普遍且严重。大量灌溉水资源在输配水过程中因渠道渗漏而浪费,不仅直接抬高了农业用水成本,降低了灌溉保证率,加剧了水资源供需矛盾,还可能导致区域土壤盐渍化、地下水异常抬升等环境负效应。实施灌区节水改造,特别是强化渠道防渗工程建设,是提升农业水资源利用效率的关键途径。传统渠道防渗技术虽经多年发展,仍存

在材料性能不足、设计标准化程度低、施工质量控制难、维护管理滞后以及成本效益失衡等问题,亟待系统性优化。本研究立足于实际问题,致力于研究灌区渠道防渗技术的优化构建路径,通过技术集成与创新应用,形成可复制、可推广的综合解决方案,为灌区节水改造工程的深入开展提供坚实的理论支撑与实践指导,促进农业节水的整体效能提升。

### 1 灌区渠道渗漏现状与防渗技术存在的问题

国内绝大多数灌区渠道建成时间相对比较早,许多灌区仍

以土渠道为主,部分混凝土衬砌渠道也已经出现不同程度老化、破损,渠道渗漏损失率较高,大量无谓损失严重影响了灌区的总体水利用效率,导致水资源浪费严重。

另外,常规渠道防渗技术实际应用面临不少困境。首先,常采用防渗材料较为简单,如预制混凝土板强度大,在温度应力、冻胀力作用下容易导致材料开裂失效;复合土工膜抗穿刺性不佳,防渗工程易受施工中抛物或钉钉的影响而失效,抗老化性能较差,原材料昂贵,工程造价高;部分新方法的新材料在技术性能、适用条件、工程应用性及经济性能方面的研究还不够,且缺乏结合地区气象和地质条件的多因素防渗材料选择原则与建议。其次,渠道防渗与设计规划分离,设计标准不够细化统一,未全面考虑渠道土基、地下水动态变化等影响因素,导致结构断面形式缺乏合理性、接缝处理随意、防渗体系不完善等问题。最后,施工中的质量管控较为粗放,部分渠道基层施工单位施工技术水平参差不齐、施工技术落后,如混凝土浇筑养护不规范、土工膜铺设松紧不一、焊接质量得不到有效保证等,直接影响防渗效果<sup>[1]</sup>。防渗工程应用运行管理模式陈旧,缺少常规渗漏检测及维护制度,难以及时修补局部渗漏或衬砌破损等问题,导致渗漏面积不断扩大并恶化;技术、方法、手段及材料的应用推广普遍缺乏对工程全寿命周期成本的综合考虑、分析与比较建议,初始投资成本敏感性影响了高性能、超强度材料的应用推广,缺乏后期有效维护资金的支撑保障机制等问题成为限制防渗效果持久发挥的主要阻力。

## 2 渠道防渗技术优化构建的目标与原理

对灌区渠道防渗技术进行优化设计必须有基本目标,这个目标是尽可能降低灌区输水中的渗漏损失量,使渠系水利用系数显著提升。为了促使基本目标得以实现,需要遵循的主要优化原则如下。

一是技术经济最优原则,就是在满足可靠性和耐久性的基础上,兼顾一次性投资与长期运行维护成本、节约水资源效果及对环境的影响,选取寿命周期成本效益最佳的最优技术方案,不应为谋求低价或片面地追求高可靠性而导致资源配置不合理。

二是区域适应性原则,就是充分结合灌区所在地段的水文地质条件、气候、地形、水文气象等因素以及可能出现的冻胀、盐渍化等风险因素,以此确定防渗材料选用范围、结构选型参数的合理范围以及选用施工技术措施,最终确保其相应的技术方案能有效地抵御外界环境的影响。如在寒冷地区要注意增强其防冻胀设计,在酸碱土质中应注意选用耐腐蚀材料。可靠性耐久性原则,就是要确保其在以后长期的使用服务过程中对防渗有持续稳定的使用效果,因此其防渗材料需要其材料具有抗老化、耐腐蚀、耐久的特性,设计的结构参数要满足各种外界复杂应力和地基变形情况的抵抗,对其施工建造质量需要保证其施工结构和接缝可靠不发生渗水隐患<sup>[2]</sup>。

三是系统整体性原则,就是要对材料、设计、施工及管理各环节进行统筹整合,确保整体防渗工程在各方面有效衔接与相互影响。该原则的理论基础涵盖了渗流、土壤物理、材料

与结构力学、系统工程和管理等学科的知识。渗流力学可对不同介质中的水分运动规律进行解释,是渗漏机理分析和渗漏防治措施的基本原理;土体力学可阐明不同土体因土水相关性的差异所导致的渠道防渗性差异,也是提出和选择防渗材料结构的基础原理;结构力学是选取和设计满足强度耐久性的防渗构造的原理;系统工程学、管理科学为实现材料研究设计到工程设计、精心建造到长效管理全生命周期优化、预控、动态管控提供了科学方法论。这些原理和学科的相互关联与融合,是实现渠道防渗技术由经验式粗放式向科学化精细化进阶升级的理论依据。

## 3 灌区节水改造渠道防渗技术优化策略

### 3.1 防渗材料的科学评价与适配性优化

为提高防渗工艺的效果,首先要科学系统地做好防渗材料的性能检测与优中选优的选材工作,应以材料性能可靠、经久耐用、经济效益合理、符合环保要求为基本原则和依据。继续强化和加强传统刚性材料的性能增强,研发和推广抗裂性好、低收缩性、高早期微膨胀抗裂性混凝土、纤维增强混凝土、聚合物改性水泥基复合材料,提高其抗拉抗裂性和抗冻耐久性的技术研发及应用。加快推广新型柔性材料的应用发展和材料配方的就地化创新和技术优化改进,重点监测和示范推广性能好的膨润土防水毯及高强度生态复合土工膜和环保型新型高分子乳液防渗涂料等材料的应用。同时材料的适宜选料、搭配使用都必须建立在详细的可靠区域环境适宜使用检测评价的基础上,特别要注意不同材料在不同气候类型地域区带、不同典型区域地下水水位较高区域地基土质土壤类型波动区、不同地区不同的冻融频数循环周期区、低温冻区高温区带以及水下地质情况各种气候土壤环境条件下的长期服役行为及衰变规律。建立健全材料性能数据库以及材料区域使用适宜选料图谱,提供给不同工程使用选择,如高水头强冻胀地区选用复合土工膜结合预制加强框格混凝土;在地下水位较高、地基不良的渠段宜采用具有极低渗透系数的现浇膨润土防水毯结合地基处理强化;在生态敏感区尽量采用改性生态土工织物或者环保型涂层材料<sup>[3]</sup>。此外要大力开展绿色循环再生、节能量长寿命功能型材料的前瞻性研究,使防渗材料向环境友好、功能多样、全寿命周期经济性低的方向进展。

### 3.2 结构与断面形式的精细化与标准化

高标准防渗结构的实现依靠优化设计。在改进传统防渗设计存在标准化未精细化的基础上,应开展标准化精细化设计研究并推广应用。防渗结构的优化首先依据渠道的设计流量、沿程水文地质状况、设计防冻胀等级等关键参数,以及数值分析等计算技术,确定满足水力最优断面设计并结构安全稳定的最佳的断面形状结构尺寸。U型断面、圆心角梯形断面等水力水能最优化、结构受力最优的断面结构,应予以优先采用。接头处是传统衬砌的薄弱防渗结构,应采取先进的接头防渗强化技术设计,如埋置耐久性橡胶止水带、增设多道密封胶槽、使用高性能遇水膨胀密封胶膏等措施,有条件时应设计成搭接焊死或整幅铺设

的非分缝全贴合防渗结构,消除缝间渗漏通道。对具有典型灾害的地区应结合理论与实践经验提出系统化、常态化的防渗结构专项设计措施,如通过加强基床排水保障、配置高效保温隔断层、通过优化抗冻胀结构梯形或铰接结构、特制表面保护涂层提升材料耐腐蚀性等。通过构建区域、分类防渗结构设计图集和数字参数库,实现设计成果高效复用和标准化管控,确保设计成果高质量统一可靠。大力推广应用三维建模技术与计算机辅助工程设计软件平台,可实现渗流场与应力场多场耦合模拟计算分析,进行防渗结构参数优化、抗浮稳定安全校核、应力分布合理性分析等多维度精确仿真设计,大幅提升防渗设计的科技含量与精准决策水平。

### 3.3 施工过程质量控制与关键工艺技术创新

施工保证将优化设计图变成牢固的实体工程质量。须建立防渗工程全过程的质量控制措施体系,从材料进场检查的严格进货检验开始,把住防渗材料的质量关,在工序施工前进行必要的开挖清理与垫层夯实,达到设计要求的承载力、压实度和平整度,以保证上层防渗构造的施工有一个坚实的基础表面。在重要工序过程中要严格控制环节和技术创新,例如混凝土衬砌应要求必须机械振捣,实施覆盖洒水与薄膜覆盖养生的技术规范要求等,必要时需用高效养护剂养护等;土工膜铺设的施工应准确掌握土工膜连接宽度,强力推广自动行走式焊接,实现焊接质量无问题目标,实施双线双缝的气密测试;预制件安装环节应掌握安装位置无偏移,连接接缝中填料填充饱满无渗漏,预制件的接缝填实嵌缝的施工质量等,接缝的两个预制件之间的连接必须紧密牢固保证无渗漏的薄弱点<sup>[4]</sup>,大力推广衬砌施工成套设备的研究应用,如U型渠道衬砌滑模一体机、大跨度土工膜自动摊膜铺理焊接机、智能化的混凝土振捣摊抹组合机等成套的成套装备,以机械化自动化来保证施工过程的标准化。此外严把工序交接三检关,通过对混凝土成型、膜材焊接焊缝完整性、构件安装密闭性等应用无损、传感等智能化、信息化检测方法进行动态质量过程监控和数字化定量记录分析评估,提前发现整改可能出现的质量问题,做到整个工程防渗质量数字化可追溯闭环管理。

### 3.4 防渗新材料新技术的系统化集成应用

技术的持续迭代更新是保持防渗效果领先性的核心驱动力。在灌区节水改造中应科学引入并系统集成具有明确应用前景的前沿防渗新材料新技术。一方面要积极推动纳米改性技术赋能传统材料性能飞跃,开发高性能纳米混凝土复合材料大幅增强其抗渗抗蚀及耐久性能,探索功能型喷涂成膜智能堵漏材料实现衬砌微小裂纹的自诊断自修复效应。另一方面大力推进信息化、智能化技术全面深度融入渠道防渗领域关键环节。在施工阶段集成应用建筑信息模型技术,建立渠道防渗结构全要素三维数字化模型,辅助精准施工建造和质量动态精准管控。在运维阶段构建基于分布式光纤传感、物联网感知节点的渠道渗漏在线监测系统网络,实现衬砌结构实时变形量测、温度梯度分布精确测定以及微小渗漏点位的无遗漏早期自动辨识报警。探

索应用大数据驱动的人工智能分析预测模型,基于渗压、变形、温湿度等多源长周期监测数据,精准评估防渗体系运行服役状态,对其长期可靠性进行前瞻性预判分析评估诊断,提供科学化智能化的管养维护决策支持信息依据<sup>[5]</sup>。应积极推广预制装配式整体化防渗技术,在工厂标准化环境中精密预制渠道衬砌模块或成套化渠道组件,结合现场机器人智能化高效装配作业,从根本上提升防渗体整体性与施工质量均一性,显著减少现场湿作业依赖度缩短工期提高工程建设效率。积极探索生态友好型结构一体化施工工法应用,将高性能防渗体结构与生物栖息通道创建、水质保持功能要求融为一体设计同步建成交付。

## 4 结语

渠道防渗技术集成优化体系是实现灌区渠系建筑物节水改造的核心环节。笔者在全面梳理渠道渗漏现状和渠道防渗技术关键问题的基础上提出了渠道防渗技术全方位、全流程的优化理念和总体优化构架。研究结果显示,强调渠道防渗材料性能合理评估和区域适应性选择,强调渠道结构断面设计精细化、标准化,强调渠道防渗施工过程质量管控依托施工工艺创新和智能化建设,强调前瞻性地引入新材料技术和融合信息技术,更需通过这些有机联动、协同强化,构成在渠道防渗技术创新理念指导下前后衔接的材料性能、结构功能、施工管控和智能化运维全要素和全生命周期全过程管理的有机结合,以实现渠道防渗全效能最大化,最大程度减少灌溉输配水过程中的经济价值损失。展望未来,应强化新型高性能和绿色环保防渗材料的研究与推广应用,加快融合物联网和人工智能技术的基于渠系建筑物物理结构(设施)和智能感知模型的渠道防渗设施实时智能感知决策支持能力的建设,合理构建渠道防渗技术设施的全生命周期的成本效益分析模型,并不断完善节水和多元投资体制、机制的支持与保障体系,实现通过水能化(节水)、能为物(供能)的价值再循环,只有这样,渠道防渗技术才能成为在新形势下提高农业水资源利用效率,在保障我国粮食安全前提下的现代农业的助推器和国家区域生态可持续发展的强劲后盾,为实现水的高效节约利用、农业的绿色发展提供坚实的基础。

## 【参考文献】

- [1]尚奇.灌区节水改造工程中渠道防渗关键技术分析[J].水上安全,2024,(05):166-168.
- [2]段丽芳.灌区节水改造工程中农田灌溉渠道防渗关键技术研究[J].南方农机,2023,54(18):178-180.
- [3]李娜.灌区节水改造工程中的渠道防渗关键技术研究[J].工程技术研究,2023,8(02):219-221.
- [4]吴润昊.水利灌区改造中的混凝土衬砌渠道防渗技术研究[J].地下水,2024,46(05):164-166+202.
- [5]辛福德.灌区节水改造中的渠道防渗技术研究[J].科技资讯,2023,21(22):156-159.

## 作者简介:

陈庆(1974—),男,汉族,重庆市人,大专,高级技师,研究方向冬季水利工程运行与防渗运用。