

升等工程,协同规划地下综合管廊或共同管沟。为给水、再生水等生命线工程预留标准化、模块化的管位,从根本上解决地下管位冲突问题,也为未来市政设施的升级预留弹性空间。

此路径旨在破解“空间资源受限”的难题,其核心是运用空间资源共享改造理念,超越单个小区的界限,在更大范围内进行资源整合与优化配置。

### 3.2 构建标准化、技术化、制度化项目全周期精准勘察体系

标准化、技术化和制度化的项目全周期精准勘察体系是工程勘察单位未来的建设方向。

**标准化:**制定勘察标准手册:设计单位与建设单位进一步明确规定勘察的内容、深度、精度和成果格式,编制老旧小区二次供水设施改造工程勘察技术导则,对建筑物信息、管线信息、居民信息等建立统一的调查表格和数据字库,确保信息收集无遗漏、无歧义。

**技术化:**融合多源探测技术,综合运用探地雷达(GPR)、惯性定位仪、管道机器人(CCTV)等先进物探设备,对地下管线进行精准探测和三维建模。构建BIM+GIS一体化信息平台:充分利用建筑信息模型(BIM)和地理信息系统(GIS)技术。通过激光扫描、无人机倾斜摄影等技术快速获取小区实景三维模型,并将勘察所得的建筑物、地下管线、设备位置等信息全部集成到统一的BIM模型中。该模型将成为设计、施工、运维全周期的“单一数据源”,实现信息的无损传递和可视化协同。

**制度化:**建设单位建立成果审核与责任制,明确勘察、设计各方的责任,实行勘察成果终身负责制,并与单位及个人信用评价体系挂钩,从制度上倒逼勘察质量的提升。

此路径旨在建设勘察成果失准给设计带来的不良影响,其核心是运用“全过程管理”思路,将勘察工作从一个孤立的阶段性任务,提升为贯穿项目始终的动态、精准化管理活动,并通过制度化的责任体系增强勘察单位工作的准确性。

### 3.3 推行“设计-施工”一体化协同机制

增强设计单位与施工单位的协同性,有助于解决设计方案与实际施工方案脱节的问题,具体的措施为:

系统性提升设计人员对二次供水施工工艺的认知水平。设计单位可通过组织专项培训、开展施工经验交流研讨会等方式,使设计人员充分掌握现场施工的关键技术要点,确保其在方案设计阶段即能综合考虑施工可行性,从而增强设计成果的落地性。

强化施工单位在设计阶段的早期介入与深度参与。在

EPC总承包模式下,施工单位需转变观念,派遣经验丰富的技术人员提前加入施工图设计,将其宝贵的实践经验、先进的施工方法以及对材料选型的科学建议融入设计方案,从源头提升设计的可施工性,避免问题滞后至施工阶段才暴露。

积极推动技术协同平台的构建:例如,利用建筑信息模型(BIM)技术,创建统一的三维协同设计环境,使各专业设计师与施工工程师能够进行实时互动与管线综合碰撞检测,在虚拟空间中预先识别并解决所有潜在的空间冲突,从而最大限度地减少现场的设计变更与返工现象。

此路径旨在弥合“现场实施与设计方案脱节”的鸿沟,其核心是运用前瞻性思维,打破设计与施工之间的壁垒,促进知识、经验的前置集成与高效协同,最终保障老旧小区二次供水设施改造项目的顺利实施与整体效能的提升。

## 4 结语

综上所述,改造空间资源高度受限、勘察成果质量参差不齐、现场实施与设计方案严重偏离等关键问题,共同构成了制约广州市老旧小区二次供水设施技术改造项目推进的三大瓶颈,导致了项目周期延长、实施难度增大及改造进度滞后的困境,因此本文基于系统优化理论,提出了三位一体的优化路径体系:首先,运用空间资源共享理念,创新性地提出推行区域化整合、集约化布局的改造模式,以突破单个小区物理空间的局限;其次,引入全过程管理思路,构建了集“标准化作业流程、技术化探测手段、制度化责任体系”于一体的项目全周期精准勘察体系,从源头保障基础数据的准确性;最后,以前瞻性思维为指导,着力推行“设计-施工”一体化协同机制,通过知识集成与流程再造,有效弥合设计与实施之间的鸿沟。这三条路径相互支撑、有机衔接,共同构成了提升广州市老旧小区二次供水设施改造效能的方法论体系,不仅为当前困境提供了切实可行的破解方案,也为同类城市的基础设施更新改造工作提供了有价值的理论参考和实践范式。

### 参考文献

- [1] 靳军涛,梁思宸.二次供水设施调研及水质影响因素分析[J].中国给水排水,2023,39(20):32-37.
- [2] 刘鸿凯.基于盐田区的二次供水设施现状评估与优化改造策略研究[J].水利技术监督,2025,(04):137-140+144.
- [3] 汪建新.上海城区二次供水设施现状分析及优化运行措施研究[D].哈尔滨工业大学,2016.
- [4] 窦飞宇,骆建云,吴嘉慧,等.广州老旧小区成片连片微更新思路与策略[J].规划师,2025,41(06):115-121.

# Comprehensive evaluation of water saving benefits and ecological environment effects of seepage prevention project in hilly irrigation channel

Deyou Kuang

Zizhong County Guide Town People's Government Agricultural Comprehensive Service Center Zizhong County, Neijiang, Sichuan, 641200, China

## Abstract

Hilly irrigation areas, characterized by rugged terrain and severe water leakage, have long hindered agricultural water conservation and ecological sustainability. To address water scarcity and ecological degradation, implementing channel seepage prevention projects has become crucial. This study focuses on a typical hilly irrigation area, analyzing the water-saving benefits and ecological impacts of seepage prevention measures through monitoring and modeling. Results indicate that these measures can reduce leakage by 30% to 60%, improve water conveyance efficiency by over 20%, and significantly enhance water distribution balance and soil moisture in farmland. Additionally, the projects demonstrate phased and regionally differentiated effects on groundwater recharge, soil salinity, and vegetation restoration. Using the AHP-GIS integrated evaluation method, this paper establishes a dual-benefit assessment system for water conservation and ecological protection, proposing site-specific optimization designs and zoned management strategies to promote efficient water utilization and coordinated ecosystem development in hilly irrigation areas.

## Keywords

hilly irrigation area; channel seepage prevention; water saving benefit; ecological environment effect; comprehensive evaluation

## 丘陵灌区渠道防渗工程节水效益与生态环境效应综合评价

邝德友

资中县归德镇人民政府农业综合服务中心, 中国·四川内江 641200

## 摘要

丘陵灌区地形起伏、渗漏严重, 长期制约农业节水与生态可持续。为应对水资源紧缺与生态退化, 推广渠道防渗工程成为关键途径。本文以典型丘陵灌区为对象, 通过监测与模型评估系统分析防渗工程的节水效益和生态环境效应。结果显示, 防渗措施可减少渗漏30%~60%, 输水效率提高20%以上, 显著改善灌区供水均衡与耕地墒情。同时, 工程对地下水补给、土壤盐分及植被恢复具有阶段性与区域差异影响。基于AHP-GIS综合评价方法, 本文构建节水与生态双效益评价体系, 提出因地制宜的优化设计与分区管理策略, 以促进丘陵灌区水资源高效利用与生态系统协调发展。

## 关键词

丘陵灌区; 渠道防渗; 节水效益; 生态环境效应; 综合评价

## 1 引言

丘陵灌区在我国分布广泛, 典型区域包括黄土高原、江淮丘陵、四川盆地边缘等。由于地形破碎、地质结构复杂、土层渗透性强, 传统灌渠多为素土结构, 渗漏严重, 年输水损失率可达40%以上, 导致水资源利用效率低、灌溉效益差。随着农业现代化与水资源高效利用的政策推进, 渠道防渗工程成为丘陵灌区节水改造的关键措施。其通过采用混凝土衬砌、土工膜、复合防渗材料等方式, 降低渠道渗漏, 提高输

水效率, 具有显著的经济与生态效益。

然而, 防渗工程在改善灌溉效率的同时, 也改变了地表与地下水的循环关系, 对区域水文过程、土壤湿度、生态系统结构等产生影响。部分地区出现地下水位下降、湿地退化、土壤盐分累积等问题, 反映出节水效益与生态效应间的复杂平衡关系。本文旨在通过量化评估方法, 构建丘陵灌区渠道防渗工程的节水与生态效应综合评价体系, 揭示其多维影响机制, 为防渗工程的科学规划与生态优化提供理论依据与实践指导。

【作者简介】邝德友(1978-), 男, 中国四川内江人, 本科, 从事农田水利研究。

## 2 丘陵灌区渠道防渗工程的建设背景与技术特征

### 2.1 丘陵灌区的水资源特征与灌溉问题

丘陵地区地形起伏明显，水系呈现碎片化格局，降雨时空分布不均，蒸发量较大，农业用水依赖人工渠系调配。传统渠道多为素土或片石结构，渗漏严重，输水损失导致末级渠系水量不足，形成“上段充足、下段缺水”的用水格局。灌溉不均衡不仅制约了农作物产量稳定，也加剧了地表径流与土壤侵蚀，形成负反馈循环。

### 2.2 防渗技术类型与结构特点

丘陵灌区渠道防渗工程多采用刚性防渗（混凝土衬砌）、柔性防渗（土工膜、复合防渗布）、及生态防渗（植物根系加固+透水复合层）等三类结构。刚性防渗具有耐久性强、抗冲刷能力高等特点，适用于干流与干渠；柔性防渗适应地形变形能力强，施工便捷，常用于支渠与末级渠；生态防渗则兼顾节水与生态修复，适合生态敏感区与农田边沟。近年来，防渗技术呈现材料复合化、结构多层化、施工机械化的发展趋势。

### 2.3 防渗工程建设的政策与实践背景

自《国家节水行动方案》与《最严格水资源管理制度》实施以来，防渗改造成为丘陵灌区节水工程重点内容。各地结合“田间节水—渠系改造—信息调控”一体化建设模式，推广新型防渗材料与标准化断面设计，实现节水、减耗、增效的目标。实践表明，防渗工程建设与农业结构调整、生态修复工程协同推进，能够形成综合性的区域水资源治理格局。

## 3 渠道防渗工程节水效益的定量分析与验证

### 3.1 节水机理与效益指标体系构建

丘陵灌区渠道防渗工程的节水机理主要体现为降低渗漏损失、减少蒸发蒸腾和提高输水效率。素土渠道因结构疏松、孔隙发育，渗漏系数通常较高，导致输水过程中大量水分流失。防渗工程通过采用混凝土衬砌、复合土工膜等材料，形成低渗透性结构层，阻断深层渗漏通道，从而有效提高输水效率（ $\eta$ ）。其节水效益可由公式  $\Delta W = W_0 - W_1 = Q \times (1 - \eta_1 / \eta_0)$  定量描述，其中  $W_0$ 、 $W_1$  为改造前后输水损失量， $Q$  为设计流量。为了科学评估防渗节水效益，本文构建了多层次指标体系，包括输水效率提高率、灌溉水利用系数、供水均衡度、田间有效灌溉面积增加率、渠道水损系数等五个核心指标。

### 3.2 典型丘陵灌区监测与实测结果

以中部某典型丘陵灌区为研究对象，对改造前后的输水效率与水量平衡进行对比分析。该区采用混凝土衬砌与复合土工膜结合的防渗结构，完成干渠 15 km、支渠 42 km 的防渗改造。监测结果显示，改造后渠道输水效率由 0.56 提升至 0.83，提升幅度达 48%；年节水量约 280 万  $m^3$ ，占年

输水总量的 22%；田间有效灌溉面积由 1.5 万  $hm^2$  增加至 1.7 万  $hm^2$ ，增长 13%。此外，平均灌溉周期缩短 20%，渠系渗漏深度减少约 65 cm，渠首流量稳定性提高 30%，表明水量分配更加均衡。综合分析发现，防渗工程显著改善了丘陵灌区末级渠系的供水保障率与时效性，有效缓解了“上段过水、下段缺水”的不均衡现象。上述实测结果验证了防渗工程在丘陵复杂地貌条件下的节水成效与运行可靠性。

### 3.3 经济节水效益与社会收益分析

防渗工程的节水不仅带来直接的用水节约，还产生显著的经济与社会效益。直接经济效益主要表现为减少供水能耗与维护费用、提高农作物产量和灌溉收益。以玉米和水稻为主要作物的研究区为例，节水对应的年均增产收益约 420 万元，供水能耗下降 25%，节约运行维护成本约 60 万元。社会层面，防渗工程改善了农田水利基础条件，提升了农业生产稳定性与抗旱能力。农户调查结果表明，93% 的农户认为防渗工程后用水纠纷明显减少，作物成熟期更为集中，农时安排更具灵活性。此外，工程实施促进了节水意识普及，推动了节水型社会建设与农业结构优化。综合来看，防渗工程实现了“节水—增效—惠民”的良性循环，为丘陵地区农业高质量发展与乡村水资源可持续利用提供了坚实支撑。

## 4 生态环境效应的响应机制与影响分析

### 4.1 地下水动态变化与水文平衡调整

丘陵灌区地形起伏大、地层结构复杂，地下水补给高度依赖于地表渗漏。渠道防渗工程实施后，原有的渗漏通道被阻断，地下水补给量显著减少，水文循环格局发生调整。监测数据显示，防渗区地下水埋深较改造前平均下降 0.3 ~ 0.8 m，局部甚至超过 1 m，而非防渗区变化不明显。这种空间差异造成地下水径流量减少，浅层含水层补给减弱，导致部分湿地萎缩与地下水水面波动加剧。若工程未配套渗水补给措施，可能引发浅层干涸、植物根系受损等生态风险。水文平衡分析表明，防渗使地表径流占比上升约 12%，蒸发蒸腾总量下降约 6%，地下水补给率下降约 18%，水量分配呈“地表强化—地下削弱”的特征。长期看，这种变化虽提高了灌溉用水效率，但需通过生态补水与人工回灌措施，维持地下水动态平衡与区域水文系统稳定。

### 4.2 土壤水盐与生态植被变化

防渗措施显著改变了丘陵灌区土壤水分与盐分分布特征。防渗渠减少了深层渗漏，提升了耕作层含水量，降低了毛细上升引起的地表盐分返聚，有助于抑制次生盐渍化的发展。监测数据显示，渠系两侧 0 ~ 40 cm 土壤含水量较改造前提高 12% ~ 17%，电导率下降 15% 以上。但在排水不畅或地势低洼区，因地表径流积聚与蒸发作用增强，局部出现盐分富集现象，形成小范围盐化斑块。植被恢复监测表明，防渗区农田边坡植被覆盖度两年内由 62% 上升至 78%，物种多样性指数（Shannon-Wiener）上升 0.25，尤其多年生草