

# 农业灌区渠道衬砌防渗技术改造及耐久性提升策略研究

李文富

云南省昭通市昭阳区水利工程管理站 云南昭通 657000

**摘要：**本文以云南省昭通市昭阳区跳墩河中型灌区为研究对象，针对现有渠道普遍存在渗漏严重、衬砌破损、结构失稳等病害问题，系统开展渠道衬砌防渗技术改造与耐久性提升策略研究。通过实地调查与成因分析，结合灌区工程特点和20年合理使用年限目标，提出分区分类的防渗衬砌改造方案，包括混凝土现浇、预制板衬砌、基础加固及特殊地质段处理等关键技术措施。同时，从材料性能、结构设计、施工质量及运行维护等方面，构建保障渠道长期耐久性的综合策略。研究成果可为同类中小型灌区续建配套与节水改造提供技术参考和管理范式，对提升农业灌溉效率、促进水资源可持续利用具有重要意义。

**关键词：**农业灌区；渠道衬砌；防渗技术；耐久性；技术改造；跳墩河灌区

## 引言

农业灌区是保障国家粮食安全和推动乡村振兴的重要基础设施，其运行效率直接关系到农业用水的可持续性与水资源利用效益。然而，我国大量中小型灌区建设年代较早，普遍存在渠道老化、渗漏严重、衬砌结构破损等问题，导致输水效率低下、灌溉保证率不足，严重制约了现代农业发展。特别是在西南山区，受复杂地质条件和季节性气候影响，渠道工程更易出现滑塌、冻融破坏及基础失稳等病害，耐久性难以保障。昭通市昭阳区跳墩河中型灌区作为典型代表，骨干渠道年久失修，亟需系统性技术改造。在此背景下，开展渠道衬砌防渗技术优化与耐久性提升研究，不仅契合国家“节水优先、空间均衡”的治水方针，也为同类灌区的现代化改造提供可复制、可推广的技术路径与管理经验。

## 一、灌区概况与渠道病害诊断分析

### （一）项目区自然与社会经济概况

昭通市昭阳区地处云贵高原北缘，属典型的低纬度高海拔山区，地形起伏显著，沟壑纵横，整体地势由西南向东北倾斜。区域气候为亚热带季风气候，干湿季分明，年均降水量约800毫米，主要集中在5月至10月，而冬春季节降水稀少，水资源时空分布不均的问题突出。区内土壤以红壤和黄壤为主，土层较薄，保水能力有限，农业灌溉对水利工程依赖程度高。社会经济以农业为主导，耕地多分布于河谷阶地与缓坡地带，种植结构以玉米、马铃薯及特色经作为主。近年来，随着乡村振兴战

略推进，农业生产规模化和集约化趋势增强，对稳定可靠的灌溉水源提出更高要求，但现有水利设施难以匹配发展需求，制约了区域农业现代化进程。

### （二）灌区水利工程现状

跳墩河中型灌区以跳墩河水库为水源，通过铁池大沟、王家河大沟及南干渠三条骨干渠道构成输配水骨架，设计灌溉面积达数万亩。这些渠道大多建于上世纪六七十年代，受限于当时技术条件与资金投入，普遍采用素混凝土或浆砌石衬砌，断面尺寸偏小，结构标准偏低。运行数十年来，缺乏系统性维护，部分渠段已出现严重老化。渠道沿线建筑物如节制闸、分水口等设施陈旧，启闭功能退化，调控能力弱。整个灌区输水效率低下，实际灌溉保证率远低于设计值，尤其在用水高峰期，末端农户常面临无水可用的困境。工程体系虽经局部修补，但未从根本上解决结构性缺陷，整体处于“带病运行”状态。

### （三）渠道病害类型与成因分析

现场勘查表明，灌区渠道病害呈现多样性与区域性特征。常见问题包括衬砌板大面积脱落、纵向裂缝贯穿渠底、边坡滑塌导致断面变形，以及局部渠段因基础掏空而悬空失稳。渗漏损失尤为严重，部分渠段实测渗漏率达30%以上。这些病害的形成并非单一因素所致。早期施工质量控制不严，混凝土强度不足、分缝设置不合理，为后期开裂埋下隐患。地质条件复杂，部分渠段穿越软弱土层或膨胀性岩体，遇水后产生不均匀沉降。地下水水位变化和降雨入渗进一步加剧了基底扰动。同时，

缺乏有效的排水措施，使得冻融循环与干湿交替反复作用于衬砌结构，加速材料劣化。长期超负荷输水亦对渠体造成持续冲刷与疲劳损伤，多重因素叠加，共同导致渠道耐久性显著下降。

## 二、渠道防渗技术改造方案设计

### (一) 改造原则与设计标准

渠道防渗改造需立足于灌区整体功能提升，兼顾节水效益、工程安全与经济可行性。设计以“系统治理、分类施策、适度超前”为基本导向，强调在保障灌溉保证率不低于75%的前提下，优化水力条件，减少输水损失。工程等级按5级建筑物控制，干渠及主要渠系结构设计使用年限定为20年，取水枢纽则提高至30年，以体现关键节点的长期稳定性要求。防渗标准参照《灌溉与排水工程设计标准》，综合考虑当地冻深、地下水位及土质渗透性，明确允许渗漏强度上限。改造过程中注重与地形协调，避免大开大挖，尽可能利用原有渠线，减少对周边生态和耕地的扰动。同时，将施工可操作性与后期运维便利性纳入设计考量，使技术方案兼具实用性与可持续性。

表1 不同防渗衬砌方案技术经济比较

衬砌类型	适用条件	设计厚度 (cm)	抗冻等级	单位造价 (元/m <sup>2</sup> )	预期使用年限 (年)
现浇C20混凝土	地基稳定、断面规则	12-15	F150	180-220	20
预制混凝土板	交通不便、工期紧张	10	F100	160-200	15-18
复合土工膜+薄层混凝土	软弱地基、旧渠修复	8+膜	—	140-170	12-15

### (二) 防渗衬砌技术选型

针对不同渠段的地质条件、断面尺寸及病害特征，防渗衬砌形式采取差异化选择。对于地基稳定、断面规则的新建或重建渠段，优先采用现浇C20混凝土整体衬砌，厚度10~15厘米，设置伸缩缝并嵌填柔性止水材料，以适应温度与干缩变形。在交通不便或工期紧张区域，则选用预制混凝土板拼装结构，便于快速施工且质量可控。对于存在轻微沉降但无结构性破坏的旧渠，可在清理基层后铺设复合土工膜加薄层混凝土覆盖，形成复合防渗层。软弱地基或高填方渠段，则需先进行基础换填或增设砂砾垫层，并在衬砌底部设置排水盲沟，降低扬压力。所有方案均要求具备良好抗冻性和抗冲刷能力，以应对当地季节性温差与水流变化。

### (三) 典型渠段改造方案设计

典型渠段设计聚焦于病害集中、影响面广的关键部位。新建干渠段采用梯形断面，底宽与边坡根据设计流量复核确定，全断面混凝土衬砌并配套分缝与排水措施。对已发生滑塌或衬砌剥落的修复段，先清除松散体，回填压实后重新施作防渗层，局部增设格宾挡墙或浆砌石护脚以增强边坡稳定性。穿越膨胀土或湿陷性黄土地段时，除加强基础处理外，还在衬砌背后设置土工布反滤层，防止细颗粒流失引发空洞。部分淤积严重的渠段同步实施清淤疏浚，恢复过流断面，并在渠底设置纵向排水槽引导渗水。所有改造措施均通过水力计算验证过流能力，确保改造后输水效率提升的同时，结构安全冗余度满足规范要求。

## 三、渠道工程耐久性提升关键技术

### (一) 耐久性影响因素分析

渠道工程的耐久性并非仅由材料强度决定，而是多种环境与人为因素交织作用的结果。混凝土衬砌在长期服役中面临冻融循环、干湿交替、水流冲刷及化学侵蚀等多重考验，尤其在昭通地区冬季低温条件下，若抗冻等级不足，表层易发生剥落。结构设计若忽视温度应力与地基变形协调，裂缝便成为渗流通道，进而诱发钢筋锈蚀或基础软化。施工阶段的振捣不密实、养护不到位，会留下内部孔隙和微裂纹，为后期劣化埋下隐患。运行管理粗放亦是关键诱因——缺乏定期清淤导致局部壅水，加剧侧向压力；超设计流量输水则造成冲刷破坏。更隐蔽的是地下水活动，它不仅改变地基力学性质，还可能携带侵蚀性离子，缓慢削弱混凝土胶结能力。

### (二) 基于合理使用年限的设计

针对干渠20年、取水坝30年的使用年限目标，设计需从全生命周期视角出发，将耐久性要求内嵌于各环节。混凝土配合比优化是基础，通过控制水胶比、掺加优质粉煤灰或矿粉，提升密实度与抗冻等级，同时满足抗冻F150以上的要求。结构构造上，合理设置伸缩缝间距（一般6~8米），采用橡胶或聚乙烯闭孔板填充，并配以柔性密封胶，有效释放变形应力。基础处理强调均匀性，对软弱土层进行换填或压实，必要时增设土工格栅增强整体性。排水系统被赋予更高优先级，在衬砌背后布设透水盲沟或打设排水孔，主动导排渗水，降低静水压力。

### (三) 新型材料与工艺的应用

传统素混凝土虽成本低，但在严苛环境下寿命有限。

引入高性能材料可显著延缓劣化进程。例如，在关键渠段掺入聚丙烯纤维，能有效抑制塑性收缩裂缝的产生，提高抗冲击与抗裂性能。土工合成材料如复合土工膜与长丝无纺布的组合，形成“一布一膜”或“两布一膜”结构，既阻隔渗流又具备反滤功能，适用于地质复杂段。施工工艺方面，滑模摊铺技术可实现连续、平整的现浇衬砌，减少冷缝，提升整体性；而预制块工厂化生产则保障了构件尺寸精度与强度稳定性，现场拼装效率高。养护环节推广保水养护膜或喷涂养护剂，避免早期失水开裂。

#### 四、项目实施保障与长效运行管理策略

##### (一) 施工组织与质量控制

工程计划在6个月内完成，施工安排需充分考虑当地雨季与农时周期，避开主汛期和春耕用水高峰。施工组织以分段流水作业为主，优先处理病害严重、影响面广的渠段，确保关键线路进度可控。混凝土生产采用集中拌和系统，严格控制原材料进场检验与配合比执行，杜绝现场随意加水。衬砌施工强调基面处理质量，要求平整、密实、无浮渣，伸缩缝位置与止水安装须经隐蔽验收。质量控制贯穿全过程，从模板支设到养护覆盖，均设立关键控制点，引入第三方检测对混凝土强度、厚度及防渗性能进行抽样验证。监理单位实施旁站与巡检结合，对不合规工序立即叫停整改。

##### (二) 水土保持与环境保护

施工扰动不可避免，但可通过精细化措施将生态影响降至最低。开挖土方就近堆放并用防尘网覆盖，减少风蚀与雨水冲刷；临时排水沟与沉沙池同步布设，拦截泥浆外排。渠道边坡修整后及时复绿，选用本地草种进行植草护坡，既固土又恢复景观。施工结束后，临时占地全面复垦，恢复原有土地功能。材料运输避开居民密集区，控制夜间作业噪声。整个过程遵循“预防为主、防治结合”原则，水土保持方案与主体工程同设计、同施工、同验收。值得注意的是，改造后的渠道渗漏减少，反而降低了地下水异常抬升风险，对周边农田盐渍化具有抑制作用。工程不仅未破坏环境，长远看还优化了区域水生态平衡。

##### (三) 长效运行管理机制

工程效益的持续发挥，依赖于制度化的运行维护体系。灌区应明确管理主体，落实管护责任，推行“管养分离”模式，由专业队伍承担日常巡查、清淤除障与小型维修。建立年度维修养护经费保障机制，纳入地方财

政预算或水费计提，避免“重建轻管”。安全监测不可忽视，关键渠段设置沉降观测点与渗流量测设施，数据定期分析，实现隐患早发现、早处置。信息化手段逐步引入，如利用无人机巡渠、建立渠系数字台账，提升管理效率。同时，健全用水户参与机制，通过农民用水协会反馈运行问题，形成自下而上的监督网络。管理目标不仅是维持输水通畅，更是通过制度、资金、技术与公众参与的协同，让工程在20年乃至更长时间内稳定发挥节水增效功能。

表2 改造前后灌区主要效益对比

指标	改造前	改造后 (设计值)	提升幅度
渠系水利用系数	0.48	0.75	+56.3%
年输水损失量(万m <sup>3</sup> )	210	95	-54.8%
灌溉保证率	58%	≥75%	+17个百分点
年维修频次(次/年)	3-4	1-2	减少约50%

#### 结论

本研究围绕跳墩河中型灌区渠道衬砌防渗改造与耐久性提升展开，系统分析了渠道病害成因，提出了分类施策的防渗技术方案，并将20年合理使用年限目标融入结构设计、材料选择与施工控制全过程。研究表明，通过优化衬砌结构形式、强化基础处理、完善排水体系及引入高性能材料，可显著提升渠道抗渗性与服役寿命。同时，工程效益的长效发挥依赖于健全的运行管理机制，包括管养分离、经费保障、安全监测与信息化手段的协同应用。研究成果不仅为该灌区节水增效提供了技术支撑，也为西南山区同类灌区的现代化改造提供了可借鉴的技术路径与管理范式。

#### 参考文献

- [1] 田路艳. 农田水利工程灌溉防渗渠道衬砌施工技术及其案例研究[J]. 数字农业与智能农机, 2025, (11): 63-65.
- [2] 王涛. 水利农田灌区节水改造渠道施工技术探讨[J]. 当代农机, 2025, (11): 34-35.
- [3] 黄雪松, 张帅盈. 灌区灌溉渠道防渗衬砌工程生态化设计研究[J]. 水上安全, 2025, (10): 46-48.
- [4] 魏海红. 灌区渠道衬砌施工防渗关键技术分析[J]. 价值工程, 2025, 44(11): 166-168.