伊犁河谷防渗渠工程设计、施工出现的短板及优化策略研究

陈新福
巩留县水利服务站　新疆　巩留　835400

摘　要：本文以伊犁河谷地带防渗渠工程为研究对象，系统梳理了自“九五”至“十五”期间及后续国土平整项目中渠道设计存在的系统性缺陷。研究发现，受早期投资收益率导向及资金局限性影响，防渗渠在垫层厚度（5-10厘米）、砂砾石含土率（＞10%）及压实度标准方面存在先天不足。以巩留县东风灌区为例，尽管2012年竣工的东支干渠使有效灌溉面积由4.1万亩增至2025年的7.3万亩（增长43%），社会效益显著，但因勘察质量粗放、设计“一刀切”且缺乏动态变更机制，导致高地下水位（0.4-1.0米）区域冻胀破坏严重，渠道底板高程设计不合理引发工程性缺水。本文进一步剖析了混凝土碱骨料反应、土工膜设置缺失、结构隔墙不足及附属设施过度设计等深层技术短板。结合2023-2026年的工程回访实证，提出应强制推行“两布一膜”防渗、提高垫层与压实标准、优化伸缩缝材料及增设消力设施等改进措施，旨在为同类灌区节水改造工程提供耐久性设计与全生命周期管理的参考依据。

关键词：伊犁河谷；防渗渠；冻胀破坏；碱骨料反应；土工膜；渠道耐久性；混凝土的安全养护

引言

伊犁河谷作为新疆重要的农牧业生产基地，其水利基础设施建设对草场改良与耕地保护具有决定性作用。“九五”期间，为响应国家节水增粮战略，我区大规模兴建小型防渗渠系。然而，受限于当时的经济技术条件，工程设计标准普遍偏低，施工质量控制体系尚不完善[1]。2000年末以来，从畜牧草场改良到国土平整项目的大量实施，虽显著推动了农牧业发展，但早期设计遗留的隐患（如垫层薄、含土率高、忽视地下水位影响）在长期运行中逐渐暴露。特别是在全球气候变暖背景下，伊犁河谷极端冻融天气频发，渠道老化损毁速度加剧，导致灌溉水利用系数下降、轮灌周期延长，严重制约了水资源的可持续利用。因此，系统复盘历史设计短板，结合现代材料与施工技术提出改进方案，具有迫切的现实意义。

1 工程概况与典型问题分析

1.1 地质水文条件与设计标准的冲突

伊犁河谷饲料地地带普遍存在地下水位较高（埋深0.4-1.0米）、土壤含水率偏高（40%-70%）的特征。早期设计忽视水的热胀冷缩特性对地基土的深刻影响。当冬季土壤冷缩时，渠道表面无明显变化；而春季融冻期，土体体积膨胀，导致渠道底板与边坡隆起变形。以巩留县某站某支干渠为例，设计使用寿命仅为10-15年，远低于实际运行需求，导致“建不及坏”的恶性循环。

1.2 地质勘察与动态设计的缺失

勘察质量不高是设计缺陷的根源。设计单位未充分掌握灌区地下水位年际变化及土质含盐量数据，在无施工道路规划、无监督话语权的封闭设计模式下，施工方即使发现地下水位异常，亦因设计方拒绝变更或沟通不畅而被迫按图施工[2]。例如部分渠段底板设计高程低于草场耕地30厘米以上，直接造成工程性供水困难，且维修通道的缺失致使隐患部位无法及时检修。

2 设计短板的多维度剖析

2.1 垫层结构失稳与冻胀防治失效

渠道砂砾石反滤层设计厚度仅为5-10厘米，且粒径级配控制不严（含土率超过10%），压实度无严格检测指标。在高地下水位区域，垫层迅速泥化、失去排水反滤功能，致使预制砼板在运行2-3年后即出现大面积下沉、断裂。U型渠道在该类区域因垫层厚度仅10厘米，受冻胀影响3年后即普遍开裂，使用寿命大幅缩短[3]。

2.2 材料耐久性缺陷（碱骨料反应与硫酸盐侵蚀）

调查发现，部分渠道混凝土板表面逐层剥落，伴随白色碱性析出物。经分析，骨料中活性二氧化硅与水泥碱分发生碱-硅酸反应（ASR），生成吸水膨胀凝胶，导致内部膨胀应力。其渐进性破坏过程表现为：短期（5-10年）：表面龟裂，伸缩缝边缘隆起，渗漏增加。 中期（10-20年）：裂缝贯穿，混凝土剥落，断面变形，渗水冲刷地基引发沉陷。 长期（20年以上）：结构性碎裂，输水功能丧失，修复需彻底重建。此外，戈壁砂砾石中硫酸根离子与混凝土水化物反应生成钙矾石，协同冻融

循环加速了材料溃散。

2.3 结构整体性欠缺与连锁破坏风险

干、支渠大量采用嵌入式压顶设计，雨水易从渠堤渗入边坡，造成垫层水土流失。更为严重的是，多数渠段未设置横向隔墙（仅个别建筑物附近设置）。如某支干渠长4309米无隔墙设计，一旦单块砼板垮塌，将引发连续塌方，极大增加岁修压力。而地下水位高且无土工膜隔绝的渠道，芦苇根系可穿透聚氨酯伸缩缝，逐年扩大缝隙，导致砼板隆起错位。

2.4 附属设施与环保设计的忽视

分水闸过度设计：斗农渠灌溉面积20-300亩，分水闸宽度常超0.7米，违背了“安全、美观、经济、实用”原则，造成资金浪费。弃料场水土保持缺失：未设专项水保方案，施工废料随意堆放，影响耕地与牧民生活环境。道路与生态冲突：巡渠道路未纳入红线保护范畴，与农林用地矛盾突出，加大了维修难度。

3 现代改进措施与实证验证

3.1 推行两布一膜复合土工膜全域防渗技术

针对高地下水位区域（埋深＜1米），设计应摒弃仅依赖厚垫层（30厘米）的抗冻胀思路。2023年某项目三条斗渠（10闸1、8闸6、8闸4）未设“两布一膜”，2025年回访发现芦苇穿透伸缩缝、砼板贯穿缝频现、陡坡断裂[4]。建议在垫层下满铺两布一膜，并确保隔墙与边板交接处外露尺寸充足且紧贴垂直面，以切断毛细水上升通道，抑制冻胀与植物根系入侵。

伊犁河谷灌区多处于低洼草场与耕地交错地带，全年地下水毛细升降循环频繁，仅依靠砂砾石垫层无法彻底阻断地下水渗透与冻胀作用力，这也是传统防渗渠道短期损毁的核心诱因。两布一膜复合土工膜具备良好的隔水、抗穿刺、耐冻融性能，适配当地昼夜温差大、冻融循环频繁的气候特征，可从根源切断毛细水上升路径，避免垫层土体饱和冻胀。结合现场施工实证，未铺设土工膜的渠段运行2年即出现根系穿刺、缝隙扩宽问题，而满铺标准土工膜的渠段，可有效规避芦苇、杂草根系破坏结构的问题。

3.2 优化垫层、伸缩缝、隔墙及消力设施结构标准

垫层与压实：垫层厚度应提升至30厘米以上，严格控制含土率＜5%，并引入压实度检测（ ≥ 0.95）。伸缩缝与隔墙：淘汰白色苯板与沥青砂组合，改用高压闭孔板配合耐候型聚氨酯密封胶。干支渠及高地下水位斗渠应每隔50米设现浇隔墙（如团结总干渠成功案例），阻断连锁垮塌[5]。消力设施：在渠道与排水渠交汇处，应依据地形增设消力池，并辅以铁丝石笼护砌，防止跌水冲刷导致的边坡断裂。

原有渠道垫层厚度不足、含土量超标、压实标准偏低，导致地基承载力不足、排水反滤效果失效，是渠道底板下沉、边坡开裂的基础诱因。结合伊犁河谷高含水、高冻融的地质条件，加厚垫层并严控含土率与压实度，可有效提升地基整体稳定性与排水性能，规避垫层泥化、失稳问题。传统伸缩缝材料耐候性差、易老化开裂，无法适配当地极端温差环境，升级后的高压闭孔板与聚氨酯密封胶，具备抗老化、抗变形、密封性强等优势，可长期保障伸缩缝防渗效果。每隔50米设置现浇隔墙的模块化结构设计，能够拆分渠道整体受力体系，避免单点损毁引发全线连锁坍塌，大幅降低运维检修成本。而增设消力池与石笼护砌，可有效消减水流落差冲击力，解决渠水冲刷边坡、掏空地基的问题，全方位提升渠道结构整体性与稳定性。

3.3 落实砂石骨料碱活性专项检测管控

新建项目必须依据《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》，对砂石骨料进行碱活性试验（如岩相法、砂浆棒快速法），杜绝使用含活性二氧化硅及超标硫酸盐的当地劣质料源。

伊犁河谷本地戈壁砂石骨料普遍存在活性二氧化硅、硫酸根离子含量超标问题，早期工程未开展专项检测，直接采用就地取材的砂石料，导致混凝土发生碱骨料反应与硫酸盐侵蚀，造成结构逐层剥落、开裂损毁，是渠道耐久性不足的核心材料隐患。因此，新建及改造工程必须将骨料碱活性检测列为强制性前置工序，杜绝劣质骨料入场使用。施工前期需批量抽检料场砂石，通过岩相法、砂浆棒快速法精准判定骨料活性指标，严格筛选符合水利规范的优质料源[6]。建立骨料进场复检机制，杜绝批次性质量问题，从源头规避混凝土内部膨胀、侵蚀破损病害，彻底解决渠道中远期结构性损毁难题，大幅提升混凝土结构的服役稳定性与使用寿命。

3.4 强化砂砾石结构压实度与密实度全过程检测

土基、天然、级配砂砾石压实度、相对密实度检测要增强检测密度，需要强调的是压顶位置的砂砾石相对密实度也要进行抽检，确保混凝土压顶、边板、底板不出现裂缝与龟纹。

传统渠道施工检测多聚焦于渠底、边坡主体垫层，忽视压顶、边角衔接等薄弱部位的压实检测，而伊犁河谷风沙大、冻融频繁，压顶区域砂砾石密实度不足，极易出现土体沉降、收缩变形，进而牵拉混凝土结构产生龟纹、细微裂缝，逐步发展为贯穿性破损。为此，需全面升级检测体系，提高土基、级配砂砾石的检测频次与

覆盖范围，实现渠底、边坡、压顶、阴阳角全区域抽检无死角。严格执行 ≥ 0.95的压实度标准，对压实不达标区域立即返工重压，杜绝侥幸施工。

3.5 优化高温强蒸发环境下混凝土养护施工工艺

当混凝土表面蒸发速度大于混凝土养护周期时，施工中需要注意的事项：边板跳仓完成一个单元后才能进行边板填仓施工；边板、底板、压顶在浇筑后，手指触碰混凝土已经凝固时要覆盖聚乙烯塑膜或者黑心棉，避免混凝土水化热产生的剪应力破坏混凝土的正常保养，杜绝边板，压顶、底板出现明显的非贯穿裂纹，影响渠道的使用寿命。伊犁河谷夏季光照充足、风力较强，混凝土表面水分蒸发速度快，极易出现内外水化温差过大、失水收缩等问题，产生大量非贯穿性细微裂缝，虽不直接影响输水功能，但会降低混凝土密实度与抗冻防渗性能，长期运行后裂缝扩张、渗水侵蚀，最终引发结构破损。跳仓施工工艺可有效释放混凝土水化热应力，避免连续浇筑产生的水化热累积效应造成裂缝，适配大面积渠道混凝土浇筑施工。

3.6 构建全生命周期多方协同参与式管理体系

设计阶段应赋予县水利部门及乡镇场监督权与变更决策权，允许施工方在地质突变时启动设计变更流程。同时，将施工道路与弃料场水保方案纳入主体工程同步验收，确保工程“建得成、管得好、用得起”。

早期防渗渠工程采用封闭化设计模式，设计、施工、监管各方脱节，设计参数固化、缺乏动态调整机制，无法适配伊犁河谷灌区复杂多变的地质水文条件，是工程遗留结构性隐患、运维难度大的核心管理短板。构建全生命周期管理体系，可打通设计、施工、验收、运维全流程监管壁垒，赋予基层水利部门现场监督与变更权限，实现地质条件异常、地下水位波动等工况的实时调整，杜绝“按图硬施工”的问题。同时，将施工道路布设、弃料场水土保持、生态防护等配套工程纳入主体工程同步设计、施工、验收，可彻底解决以往附属设施缺失、环保不达标、运维通道不足等问题，实现工程建设质量、生态效益、运维便利性的统筹兼顾，保障渠道工程长期稳定运行。

4 结束语

伊犁河谷饲料地防渗渠工程的历史短板，本质上是低标准设计与复杂水文地质条件矛盾的结果。通过巩留县东风灌区及2023年新建项目的实证对比表明： 冻胀与渗漏是渠道损毁的首要诱因，单纯增加垫层厚度无法根治，必须结合“两布一膜”隔绝地下水。 材料耐久性需从源头把控，强制骨料碱活性检测可显著延长砼板服役寿命，避免5-10年周期性剥落。

结构构造上，增设隔墙、优化压顶形式、规范伸缩缝材料是防止局部破坏演变为系统性垮塌的关键。管理制度需引入动态设计与多方协同监督机制，确保设计参数随地下水位及土质变化实时调整。建议后续灌区改造项目将设计使用年限提升至20年以上，并针对高水位区编制专项抗冻胀防渗图集，以实现节水工程从“应急抢险”向“耐久服役”的根本转变。

参考文献

[1]袁梦,张祥坤. 灌区节水改造工程中的渠道防渗材料比选研究[J].中国新技术新产品,2026,(13):91-93.

[2]刘剑丽,竺宝莹. 基于试验分析的灌区输水渠道防渗技术研究[J].水利科技与经济,2026,32(6):57-62.

[3]魏万亮. 防渗渠道施工技术在水利水电工程中的应用研究[J].产业创新研究,2026,(10):106-108.

[4]刘刚虎. 水利施工中防渗渠道衬砌施工技术的有效应用[J].水上安全,2026,(9):164-166.

[5]韩镇远,杨波,张棋,等. 长距离调水工程中渠道防渗材料与施工技术的创新研究[J].水利技术监督,2026,(2):335-339.

[6]薛祺. 引黄灌区渠道防渗衬砌技术应用研究[J].内蒙古水利,2025,(11):59-61.