

水利工程渠道防渗施工技术应用研究

陆永勇 翟伟杰

灌南县水利建筑工程有限公司 江苏 连云港 222500

摘要：渠道渗漏是水利输水工程水资源损耗的核心诱因，严重制约灌区输水效率与工程使用寿命。本文立足渠道防渗施工基础理论，系统梳理刚性、柔性、生态类防渗材料特性，剖析当前施工工艺、材料适配、运维管理及生态适配等现存问题。重点探究混凝土、土工膜、灰土沥青及生态复合防渗核心施工技术，提出全流程质量控制与技术优化策略，展望智能化、生态化发展方向，为渠道防渗工程提质增效、绿色建筑提供技术参考。

关键词：水利工程；渠道防渗；施工技术；应用

引言：水资源高效利用是水利工程建设的核心目标，渠道作为输水灌溉的核心载体，渗漏病害普遍存在，造成大量水资源浪费，加剧区域水资源供需矛盾。现阶段传统防渗施工模式存在工艺粗放、适配性弱、生态性不足等短板，难以适配现代化水利绿色、高效、耐久的建设要求。基于此，本文结合渠道防渗施工原理与工程实际，系统研究各类防渗施工技术的工艺要点与适用场景，针对性提出质量管控与技术优化方案，助力水利渠道工程高质量发展。

1 水利工程渠道防渗施工基础理论与现状分析

1.1 渠道防渗施工核心原理

（1）渠道渗漏成因：渠道渗漏主要由土体孔隙渗透、地基不均匀沉降裂缝、施工接缝处理不当及水流冲刷破坏等因素引起。其中，土体孔隙是水分渗透的天然通道，而地基沉降和施工缝隙则形成集中渗漏路径，长期水流冲刷会进一步扩大破坏范围，加剧渗漏损失。（2）防渗施工核心机理：渠道防渗的根本目的在于阻断水分渗透路径，降低输水损失。其核心机理包括：封堵土体孔隙以减小渗透系数；设置物理隔离层以阻隔水体与土层直接接触；加固渠道结构以增强抗变形和抗冲刷能力。通过上述手段的综合作用，可有效控制渗漏量，保障渠道输水效率。（3）防渗工程核心指标：评价渠道防渗效果的关键技术指标包括：渗透系数，反映防渗层阻水能力；防渗耐久性，表征材料在长期浸水、冻融循环条件下的性能保持率；结构稳定性，确保渠道在各种荷载下不发生显著变形或破坏；抗冲刷性，体现防渗层抵抗水流切应力能力。上述指标共同构成防渗工程质量评价的基础体系。

1.2 常用渠道防渗施工材料及特性

（1）刚性防渗材料：混凝土、水泥砂浆、灰土等刚性材料依靠自身密实性和强度实现防渗功能，具有抗冲

刷能力强、耐久性好的优势，适用于大流速、高落差渠道。但其适应性较差，对地基不均匀沉降敏感，易产生开裂渗漏问题。（2）柔性防渗材料：HDPE土工膜、复合防渗膜、沥青材料等具备良好的柔韧性和抗拉强度，能够适应渠道基础变形，施工便捷，防渗效果可靠。其中HDPE膜耐化学腐蚀、抗老化性能优越，是当前应用最为广泛的柔性防渗材料，适用于各类地形条件下的渠道防渗工程^[1]。（3）生态防渗材料：生态植草复合材料、柔性生态衬砌材料等兼顾防渗功能与生态保护需求，具有透水透气、植被可生长等环保特性，适用于生态景观渠道和农村水系治理工程，能够实现工程防渗与自然生态的协调统一。

1.3 当前渠道防渗施工现存问题

（1）施工工艺问题：当前施工中存在基底处理不规范、防渗层铺设厚度不均匀、接缝搭接处理不到位等工艺缺陷，导致防渗层整体性差，局部形成渗漏薄弱点，严重影响工程防渗效果和使用寿命。（2）材料适配问题：部分工程在材料选型时未能充分考虑地形地质、水文条件及气候特点，导致所选材料与实际工况不匹配，出现防渗效果不达标、材料老化加速、结构破坏等问题，造成工程效益下降。（3）运维管理问题：防渗工程后期养护重视不足，日常巡查和病害排查不及时，裂缝、破损等隐患未能及时发现和修复，致使局部渗漏逐步扩大，甚至引发防渗体系整体失效，渗漏问题反复出现。（4）生态适配问题：传统防渗技术过度依赖硬化衬砌，忽视了渠道生态功能，造成水体与土体交换受阻、岸坡植被退化、生物栖息环境破坏等问题，与当前生态文明建设要求不相适应，亟需向生态友好型防渗技术转型。

2 水利工程渠道防渗核心施工技术应用

2.1 混凝土防渗施工技术

(1) 施工工艺流程: 混凝土防渗施工包括渠道开挖→地基平整压实→模板安装→混凝土浇筑→振捣密实→养护成型六个环节。渠道开挖须按设计断面精确控制高程; 地基平整压实后压实度不低于98%; 模板安装应接缝严密、支撑稳固; 混凝土浇筑采用分块跳仓方式, 每块长度3~5m; 振捣以表面泛浆、无气泡逸出为准; 养护采用湿覆盖或蓄水方式, 确保强度稳定增长。(2) 关键施工要点: 配合比优化设计时, 水灰比宜控制在0.45~0.55, 抗渗等级不低于W6, 坍落度3~7cm; 分层浇筑厚度每层不超过40cm, 层间间歇不得超混凝土初凝时间; 伸缩缝间距6~10m, 缝内嵌填聚氨酯或沥青密封材料; 后期养护温度应保持在5℃以上, 养护时间不少于14d, 高温干燥天气应增加洒水频次^[2]。(3) 适用场景与应用优势: 该技术适用于大中型骨干渠道及高流速输水工程, 结构强度高, 可承受较大内水压力和外部荷载; 防渗效果稳定, 渗透系数可达 10^{-8} cm/s量级; 抗冲刷性能突出, 可抵御3~5m/s水流冲击, 使用寿命30~50年, 运行维护成本较低。

2.2 土工膜防渗施工技术

(1) 施工工艺流程: 土工膜防渗施工包含渠基清理修整→基层找平→土工膜铺设→搭接焊接→保护层铺设→质量复检六个步骤。渠基清理须彻底清除树根、碎石等尖锐物; 基层找平后平整度允许偏差 ± 2 cm/2m; 铺设沿纵向进行; 搭接焊接采用双焊缝热熔工艺; 保护层选用细砂或素土, 厚度不小于30cm; 质量复检涵盖焊缝强度与防渗整体性检验。(2) 关键施工要点: 土工膜厚度不应小于0.5mm, 重要工程选用0.75~1.0mm; 铺设松紧度以平顺舒展为原则, 预留3%~5%松弛余量; 搭接宽度不小于10cm, 双焊缝间距10mm, 焊接温度280℃~320℃; 破损修补采用同材质膜料热熔补焊, 补片边缘超出破损区5~10cm, 修补后须经真空检漏合格。(3) 技术应用特点: 土工膜防渗施工速度快(每日500~1000m²)、综合造价低(约为混凝土衬砌的60%~70%)、防渗性能优异(渗透系数 10^{-11} ~ 10^{-13} cm/s量级), 特别适用于小型灌溉渠道、老旧渠道改造及地质复杂变形较大的渠段, 对U形、梯形等不同断面均有良好适应性^[3]。

2.3 灰土与沥青防渗施工技术

(1) 灰土防渗技术: 灰土采用石灰与黏土按体积比3:7或2:8配制, 石灰须为Ⅲ级以上新鲜块灰, 黏土塑性指数宜为7~17。采用机械集中拌合, 含水率控制在最优含水率 $\pm 2\%$ 范围内; 分层夯实时每层虚铺厚度15~20cm, 压实度不低于95%。其防渗原理为石灰与土体发生离子交换及火山灰反应, 生成水化硅酸钙等胶凝物填充孔隙,

防渗系数可达 10^{-5} ~ 10^{-6} cm/s。(2) 沥青防渗技术: 沥青混凝土防渗施工包括配料计量→热拌合→保温运输→摊铺整平→碾压密实等工序。沥青用量一般为矿料总量的6%~8%; 拌合温度160℃~180℃, 摊铺不低于140℃, 初碾不低于130℃, 终压不低于90℃。温度控制贯穿全程, 过低作废料处理, 过高则废弃防止老化。(3) 两类技术优缺点及适用场景: 灰土防渗取材方便、造价低廉, 但抗冻性和水稳性较差; 沥青防渗柔性好、适应变形能力强, 但施工受气温制约且可能轻微影响水质。两类技术均适配乡村小型灌溉渠道、季节性输水渠道及投资受限的简易防渗工程。

2.4 生态复合防渗施工技术

(1) 技术组合形式: 生态复合防渗采用“刚性防渗层+柔性保护层+生态植被层”三级复合体系。刚性层位于底部, 可采用C20~C25混凝土或土工膜承担主防渗功能; 柔性层居中, 由土工织物或椰丝纤维垫构成缓冲和反滤层; 植被层位于表层, 采用植草砖、生态砌块配合适生植被实现岸坡绿化。(2) 核心施工流程: 首先进行基础防渗处理, 铺设混凝土预制板或土工膜形成主防渗层, 预制板缝采用M10水泥砂浆填缝, 土工膜搭接双焊缝焊接; 其次铺设生态垫层, 选用椰丝纤维垫或三维植被网, 厚度2~5cm, 搭接宽度不小于10cm; 然后铺贴植草砖, 砖孔内填充种植土; 最后进行植被播种, 选用耐湿、根系发达的乡土草种, 初期浇水保湿养护, 植被成活率须达85%以上^[4]。(3) 技术应用价值: 该技术在保障防渗效果的同时可恢复渠道岸坡植被覆盖, 维持水陆生态交换通道, 规避传统硬化渠道的生态负面影响, 适用于生态景观渠道、城市河道综合治理、农村水系整治及高标准农田生态化改造等工程, 是渠道防渗向绿色低碳发展的重要方向。

3 渠道防渗施工质量控制与技术优化策略

3.1 施工全过程质量控制要点

(1) 施工前期质量控制: 施工前应开展详尽的地质勘察, 准确把握渠基土层特性及地下水状况; 严格实施材料进场检验, 对土工膜、混凝土原材料、止水带等关键物资进行取样检测, 确保质量合格; 编制专项施工方案并组织技术交底, 明确各工序技术标准与验收要求。

(2) 施工中期质量控制: 强化基底处理质量管控, 渠基平整后须经压实度检测合格方可进入下道工序; 防渗层施工中应对混凝土坍落度、土工膜焊接温度与速度、灰土含水率等关键参数实施全过程监控; 接缝处理须逐一检查验收, 确保填缝密实、焊缝连续; 保护层施工应控制回填料粒径, 严禁含尖锐颗粒材料接触防渗层。(3)

施工后期质量控制：落实成品养护措施，混凝土养护须满足规定温湿条件，土工膜覆盖保护层后应防止机械碾压；采用现场检测与室内试验相结合方式开展质量检测；对缺陷制定整改方案并重新检验；竣工前整理完整施工资料，确保质量可追溯。

3.2 常见施工病害及处理措施

(1) 防渗层开裂：裂缝成因包括温度应力、地基不均匀沉降及施工养护不当等。处理时，对细微裂缝采用环氧树脂灌浆封闭；较大裂缝应骑缝凿槽后嵌填柔性密封材料；对沉降引发的严重开裂，须返工处理地基并重新浇筑防渗层。(2) 搭接渗漏：土工膜搭接渗漏多由焊接温度不当或焊缝虚焊引起，应通过试焊确定最佳参数，焊缝经充气检测合格，不合格处切除重焊；混凝土接缝渗水因止水带安装偏位或嵌缝老化所致，应凿除失效材料后重新安设止水带并嵌填密封胶。(3) 表层冲刷破损：高速水流挟沙易造成防渗层表面磨蚀，应对弯道及陡坡段增设混凝土护面或石笼防护；已破损区采用聚合物砂浆修复，流速较大渠段涂刷耐磨涂层以提升抗冲能力^[5]。

3.3 防渗施工技术优化策略

(1) 材料优化：根据工程实际因地制宜选型，积极推广高强度混凝土、耐老化复合土工膜等高性能材料；生态敏感区优先选用植草混凝土、生态砌块等环保材料，实现防渗与生态兼顾。(2) 工艺优化：引入滑模摊铺机、自动热合焊接机等机械化设备替代人工操作；采用GPS定位及激光找平技术提升渠基平整度；应用智能温控系统实时监测养护温度与焊接温度，减少人为误差。(3) 方案优化：针对梯形、U形等不同断面及膨胀土、软基等地质条件，制定差异化施工方案；结合渠道流量、冻深等参数优化防渗层厚度与伸缩缝间距；改扩建工程应评估既有防渗层状况，采取补强加固与局部重建相结合的综合治理方案。

3.4 技术应用发展展望

(1) 智能化发展：分布式光纤、柔性位移计等传感器将广泛应用于防渗施工监测，实现温度、应变及渗流数据的实时采集；地质雷达、红外热成像等无损检测技术将用于防渗层隐蔽缺陷的快速识别，替代传统破坏性检测。(2) 生态化发展：生态防渗技术将由单一防渗向“防渗+净水+生态”多功能方向演进，研发兼具防渗性能与生物亲和性的新型衬砌材料，推动生态混凝土等制品的规模化应用，促进节水防渗与水土生态保护协同发展。(3) 一体化发展：构建覆盖设计、施工、运维、修复全生命周期的技术管理体系，开发渠道防渗数字孪生平台实现健康状况智能评估；建立标准化养护技术体系，研发快速修复材料与便携修补装备，形成施工规范化、运维精细化、修复快速化的一体化技术体系。

结束语

本文系统阐释了水利渠道防渗施工的理论体系、主流技术及现存短板，明确了各类防渗技术的施工要点、应用优势与适配场景，构建了全过程施工质量控制体系，提出了材料、工艺、方案多维优化策略。研究表明，生态化、智能化、一体化是渠道防渗技术的核心发展趋势。未来需持续革新施工技术、完善运维机制，兼顾防渗实效与生态保护，切实提升渠道输水效率与工程耐久性，赋能节水型水利工程建设。

参考文献

- [1]何武全,姚彬,吴迪.新中国渠道防渗工程技术发展历程与展望[J].中国农村水利水电,2024,35(12):241-247.
- [2]张勇,王丽.弹性聚脲防水材料在输水渠道防渗工程中的应用[J].水利水电技术,2022,53(08):163-169.
- [3]刘军,王正中.寒区灌区混凝土渠道衬砌防渗施工及防裂技术[J].灌溉排水学报,2023,42(06):78-84.
- [4]陈曦,周浩.土工膜复合防渗技术在大型输水渠道工程中的应用[J].水利水运工程学报,2022,16(05):99-105.
- [5]韦海滨.水利工程混凝土衬砌渠道防渗漏施工技术探究[J].建材与装饰,2023,7(08):56-59.