

灌区节水改造工程防渗技术比选与优化

李亚林

第五师水利工程管理服务中心

DOI:10.12238/hwr.v9i8.6526

[摘要] 本文聚焦灌区节水改造工程防渗技术,先梳理土料、水泥土、砌石、混凝土、膜料等常见防渗技术的特性与适用场景,对比各技术在性能、成本、环境适应性等方面的优缺点。在此基础上,从材料、结构、施工工艺、管理四个维度提出优化策略,如依区域选适配材料、针对性设计防渗结构、精细化把控施工工序、建立长效管理机制。旨在为灌区节水改造工程挑选适宜防渗技术提供参考,以提升水资源利用效率、降低工程成本,推动灌区可持续发展。

[关键词] 灌区节水改造; 防渗技术; 比选; 优化

中图分类号: TU991.64 **文献标识码:** A

Comparison and optimization of anti-seepage technology for water-saving renovation projects in irrigation areas

Yalin Li

Fifth Division Water Conservancy Engineering Management Service Center

[Abstract] This article focuses on the anti-seepage technology of water-saving renovation projects in irrigation areas. Firstly, the characteristics and applicable scenarios of common anti-seepage technologies such as soil materials, cement soil, masonry, concrete, and membrane materials are sorted out, and the advantages and disadvantages of each technology in terms of performance, cost, and environmental adaptability are compared. On this basis, optimization strategies are proposed from four dimensions: materials, structure, construction technology, and management, such as selecting suitable materials according to regions, designing targeted anti-seepage structures, finely controlling construction processes, and establishing long-term management mechanisms. Intended to provide reference for selecting suitable anti-seepage technologies for water-saving renovation projects in irrigation areas, in order to improve water resource utilization efficiency, reduce project costs, and promote sustainable development of irrigation areas.

[Key words] water-saving renovation in irrigation areas; Anti-seepage technology; Comparison and selection; optimize

引言

灌区是支撑农业生产的核心基础设施,不仅直接关系到粮食作物的灌溉保障,更是维系粮食安全、稳定农村经济发展的关键载体。我国多数传统灌区建设时间较早,渠道设施老化问题突出,渗漏现象普遍且严重,大量宝贵水资源在输水过程中流失,既加剧了水资源供需矛盾,也制约了农业生产效益的提升。

在此背景下,开展灌区节水改造工程势在必行,而选择适配、高效的防渗技术是改造工作的核心环节。通过科学比选不同类型的防渗技术,结合工程实际进行针对性优化,能够从根本上减少渠道渗漏损失,显著提高水资源利用效率,同时为灌区的现代化升级、可持续发展奠定坚实基础,助力农业绿色高质量发展。

1 灌区节水改造工程防渗技术概述

1.1 防渗技术的重要性

在灌区节水改造工程中,防渗技术是核心环节。渠道渗漏不仅造成水资源的大量浪费,还可能引发地下水位上升、土壤盐渍化等一系列生态环境问题。采用有效的防渗技术可以显著减少渗漏损失,提高水的利用率,使有限的水资源得到更合理的分配和利用。同时,防渗还能提高渠道的输水能力和稳定性,降低维护成本,保障灌区的正常运行^[1]。

1.2 常见防渗技术类型

1.2.1 土料防渗

土料防渗是灌区节水改造中历史悠久的传统技术,核心原理是利用工程周边的黏土、壤土等天然土料,经人工夯实或机械

碾压, 形成结构紧密、孔隙率低的防渗层, 阻断水流下渗通道, 减少输水损失。

其突出优势是取材便捷, 无需长途运料, 大幅降低材料采购与运输成本, 还能减少能源消耗与环境影响, 因此广泛用于小型农田灌溉渠道、乡村小型水利设施。尤其在地质稳定、土层均匀且土料储量充足的区域, 能以低成本实现基础防渗。

但土料防渗局限性显著: 天然土料抗冻性差, 冬季低温时防渗层水分结冰膨胀易开裂; 耐久性不足, 长期暴露易受雨水冲刷、杂草根系破坏, 还会因干湿交替干裂。工程投用后需定期检查, 及时修补裂缝、清除杂草, 才能维持防渗效果。

1.2.2 水泥土防渗

水泥土防渗是土料防渗的改良技术, 将水泥与当地土料按比例混合, 借助水泥胶凝作用, 使松散土料形成有强度的整体, 再铺设于渠道底部和边坡, 形成兼具防渗与稳定性的防护层。它融合了水泥的强度与土料的可塑性, 施工简单、成本适中, 适合地下水位低、水流速度小的区域, 如平原中小型输水渠道。

不过, 其抗冻性未根本改善, 寒冷地区冬季易因冻融出现表层剥落; 整体强度有限, 水流速度较大时抗冲刷能力不足, 易被侵蚀。因此在寒冷地区或流速稍大的渠道应用, 需额外加设保温层防冻、防护网抗冲刷^[2]。

1.2.3 砌石防渗

砌石防渗以块石、料石或石板为材料, 按特定工艺砌筑在渠道表面, 形成坚固防渗层。石材天然强度高、硬度大, 能承受大水流冲击, 抗冲刷能力强, 且密实结构使其耐久性出色, 寒冷地区也能抵御冻融破坏, 适合大流量、高流速的大型渠道, 如山区河流改道渠道、大型灌区主干渠。

但砌石防渗应用受限较多。施工难度大, 石材搬运、砌筑需专业工人, 且缝隙需填充密实, 否则易渗漏; 材料与施工成本高, 石材匮乏地区需长途运输, 成本更高; 石材重量大, 对渠道基础承载能力要求高, 地质弱的区域难以推广^[3]。

1.2.4 混凝土防渗

混凝土防渗综合性能优异, 是目前应用最广的防渗技术之一。混凝土密实度高、防渗效果好, 且强度高、耐久性强、抗冲刷能力大, 能适配各类渠道, 从小型农田渠道到大型水利枢纽输水干渠均适用。施工方式灵活, 规则长渠道可现场浇筑, 确保与基础紧密结合; 施工复杂或需快速完工的工程, 可预制安装混凝土板, 提升效率。

但其不足也较明显。材料与施工成本较高, 混凝土生产需多种材料, 现场浇筑对技术和设备要求严, 需专业团队支持; 混凝土属刚性材料, 温度变化或基础沉降时易开裂, 不及时处理会降低防渗效果。

1.2.5 膜料防渗

膜料防渗是近年发展的新型技术, 以聚乙烯、聚氯乙烯薄膜或复合土工膜为材料, 铺设于渠道底部和边坡, 利用膜料不透水性阻断下渗。其优势突出: 膜料重量轻, 运输铺设便捷, 能适应复杂地形和大坡度渠道; 防渗性能稳定, 不受地质影响, 适配各

类环境; 材料与施工成本低, 性价比高, 经济实用。

不过, 膜料抗穿刺能力弱。施工时渠道基础若有尖锐石块、杂草根茎, 易刺穿膜料; 投入使用后, 水流漂浮物撞击或人为破坏也会导致破损。因此铺设前需彻底清理基础杂物, 铺设后需覆盖土层、砂石或混凝土保护层, 保护膜料免受损伤。

2 灌区节水改造工程防渗技术比选

2.1 技术性能比选

技术性能核心看防渗效果、抗冻性与抗冲刷能力。

防渗效果上, 混凝土防渗靠密实结构阻水, 膜料防渗依高分子材料不透水性, 二者效果最佳; 砌石通过石材拼接、水泥土借水泥胶凝作用防渗, 效果次之; 土料受密实度限制, 易因缝隙渗漏, 效果最差。

抗冻性方面, 砌石与混凝土材质坚硬稳定, 抗冻表现突出; 水泥土需铺保温层、膜料需加厚保护层, 才能满足寒冷地区需求; 土料因土粒结合力弱, 冬季易开裂, 抗冻性最差。

抗冲刷能力上, 砌石与混凝土强度高, 能承受大流速水流冲击; 土料与水泥土结构松散, 需设护面增强抗冲刷性; 膜料抗冲刷性依赖表层保护层, 保护层质量直接决定其抗冲刷效果^[4]。

2.2 经济效益比选

经济效益需兼顾初始建设与长期运维成本。

初始成本中, 土料防渗最低, 材料取自本地, 仅需承担开采、短途运输及夯实费用; 膜料防渗次之, 主要支出为膜料购置与铺设, 且运输便捷; 水泥土需采购水泥, 砌石需大量石材, 二者成本较高; 混凝土防渗成本最高, 涵盖原材料采购及复杂施工的设备、人工费用。

运维成本上, 土料与水泥土易破损, 需频繁检查修补, 费用高; 砌石与混凝土耐久性强, 日常仅需简单清理, 成本低; 膜料在保护层完好时运维成本低, 但破损后修复需重新铺设, 单次费用较高。

2.3 环境影响比选

土料与水泥土防渗对环境的影响最小: 土料直接取自工程周边, 无需远距离运输, 大幅减少运输环节的能源消耗与碳排放; 水泥土虽需掺入水泥, 但水泥用量远低于混凝土, 且核心材料仍为本地土料, 对生态环境的破坏程度可控。

砌石防渗的环境问题集中在石材开采: 大量开采块石、料石易破坏山体植被, 引发水土流失, 尤其在生态脆弱区域, 会加剧生态失衡, 环境代价更高。

混凝土防渗在生产与施工阶段环境负担较重: 水泥生产过程消耗大量能源且排放粉尘, 砂石开采可能破坏河道生态, 施工中产生的废水若处理不当, 还会污染周边水体。膜料防渗的主要环境风险是材料降解: 传统塑料膜难以自然降解, 废弃后易造成“白色污染”, 而采用可降解土工膜, 可有效缓解这一环境问题。

2.4 施工条件比选

土料与水泥土施工门槛最低: 无需复杂设备, 人工或小型机械即可完成, 对人员技术要求不高, 适合小规模灌区、偏远山区或交通不便区域。砌石与混凝土施工要求高: 砌石需专业工人

精准砌筑以保证缝隙密实;混凝土需严控配合比与浇筑工艺,依赖大型设备,对场地平整度、工期要求严,适合大规模工程或施工条件完善区域。膜料防渗施工速度快,但对基层处理严苛:需彻底清理尖锐杂物、保证基层平整,否则易致膜料破损,增加返工风险。

3 灌区节水改造工程防渗技术优化策略

3.1 材料优化

防渗材料的选择需立足工程实际需求,综合权衡性能、成本与环境适应性。针对不同区域特点,应优先选用适配性强的材料:在寒冷地区,需重点考虑材料抗冻性能,可选用混凝土或砌石这类能抵御冻融循环的材料,避免冬季防渗层因结冰膨胀出现破损;在水资源短缺区域,防渗效果是核心考量,膜料或混凝土凭借优异的阻水性能,可最大限度减少输水过程中的渗漏损失。

同时,可通过技术手段改良材料性能。例如在混凝土中添加防水剂、引气剂,既能增强混凝土的密实度以提升抗渗性,又能通过引入微小气泡缓解冻胀压力,提高抗冻能力;采用新型复合土工膜替代传统单一膜料,可借助不同材料层的协同作用,大幅提升膜料的拉伸强度与抗穿刺能力,避免因外力冲击或尖锐杂物导致的膜料破损。

3.2 结构优化

合理的防渗结构设计是保障防渗效果与工程稳定性的基础。需根据渠道类型与运行条件,针对性优化结构形式:对于混凝土防渗渠道,可根据流量、流速及地质条件,选择梯形或矩形等断面形式,同时精准设计边坡坡度与底板厚度——坡度过陡易导致边坡失稳,过缓则会增加工程占地;底板厚度需匹配渠道承载需求,避免因水流冲击或基础沉降出现开裂。

在砌石防渗渠道中,砌筑方式与辅助结构的设计尤为关键。可根据防渗要求选择干砌或浆砌方式,浆砌能通过砂浆填充缝隙提升防渗性,干砌则更便于后期维护;同时需设置伸缩缝与排水孔,伸缩缝可缓解温度变化导致的砌石热胀冷缩应力,避免出现裂缝,排水孔则能及时排出地下水,降低地下水压力对防渗层的破坏。

对于膜料防渗渠道,垫层与保护层的设置是重点。膜料下方的垫层需选用质地柔软的材料,避免基础杂物刺穿膜料;上方的保护层则需具备一定强度,抵御水流冲刷与外界摩擦,确保膜料长期处于稳定的工作环境中。

3.3 施工工艺优化

施工工艺的精细化优化,是将设计方案转化为实际防渗效果的关键。在混凝土浇筑环节,需严格把控关键工序:混凝土配合比需根据材料特性与工程要求精准调配,确保强度与防渗性达标;搅拌过程需保证时间充足,使材料混合均匀;浇筑速度需与振捣节奏匹配,避免因浇筑过快导致气泡残留,从而影响混凝土密实度。

膜料铺设过程中,需重点关注拼接与固定质量。膜料拼接时应采用专业焊接或粘接工艺,确保拼接处无渗漏缝隙;铺设时需

拉平膜料,避免出现褶皱或空鼓,同时通过压条或沙袋固定,防止膜料在施工过程中移位。此外,需加强施工全程质量检测,通过外观检查、渗漏试验等手段,及时发现并处理混凝土裂缝、膜料破损等问题,杜绝质量隐患。

3.4 管理优化

长效的运行管理是维持防渗工程持续发挥作用的保障。需建立健全管理制度,明确检查维护流程,定期对防渗层进行全面排查,重点关注渠道边坡、接口等易渗漏部位,发现裂缝、破损等问题及时修复,避免渗漏范围扩大。

同时,需加强渠道运行监测,实时跟踪水位、流量变化,结合水质监测数据,动态调整输水方案,既保证灌溉需求,又避免因水位过高增加渗漏风险或因流速过快加剧渠道冲刷。此外,应定期开展管理人员培训,提升其对防渗技术的认知水平与应急处理能力,确保管理工作专业、高效,为防渗工程的稳定运行提供人力支撑^[5]。

4 结论与展望

4.1 结论

通过对灌区节水改造工程防渗技术的比选与优化,我们可以得出以下结论:不同的防渗技术具有各自的优缺点和适用范围,在选择防渗技术时应综合考虑技术性能、经济效益、环境影响和施工条件等因素。通过材料优化、结构优化、施工工艺优化和管理优化等策略,可以提高防渗工程的质量和效率,降低工程成本,减少对环境的影响。

4.2 展望

随着科技的不断进步和人们对水资源保护意识的提高,未来灌区节水改造工程防渗技术将朝着更加环保、高效、经济的方向发展。新型防渗材料和技术将不断涌现,如纳米防渗材料、生物防渗技术等。同时,智能化管理系统将在防渗工程中得到广泛应用,实现对渠道渗漏的实时监测和预警,提高防渗工程的运行管理水平。我们相信,在不断的技术创新和实践探索下,灌区节水改造工程防渗技术将取得更大的突破和发展,为保障我国水资源安全和农业可持续发展做出更大的贡献。

[参考文献]

- [1]岳燕云.以“硬实力”支撑水资源高效利用[N].新疆日报(汉),2024-12-14(002).
- [2]李秋菊.水利工程中防渗施工处理的技术分析[J].才智,2012,(01):20.
- [3]聂懿,杨怀宁.砂壤土质池塘的防渗漏技术初探[J].中国水产,2017,(01):94-99.
- [4]郑晓东,王龙超,刘浩天.基于增量动力法的浆砌石渡槽抗震性能评价[J].水电能源科学,2025,(8):114-118[2025-08-25].
- [5]董江伟.基于有限元法的刚柔混合衬砌渠道接触特性及稳定性研究[D].石河子大学,2015.

作者简介:

李亚林(1991--),女,汉族,重庆市江北区人,本科,助理工程师,研究方向:水利工程。