

水利工程与防渗技术创新

葛彩莲

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要：本文围绕水利工程防渗技术展开研究，阐述了防渗技术的核心分类与应用现状，剖析了当前技术在技术、施工、材料等层面存在的核心问题。重点探究了防渗材料、施工工艺、监测与智能化三大创新路径，结合不同类型水利工程案例，评估了创新技术的应用效果。研究表明，高性能、绿色化、智能化的防渗创新技术可有效提升防渗效果与工程耐久性，降低运维成本，实现工程与生态协同发展，为水利工程防渗技术创新应用提供科学参考。

关键词：水利工程；防渗技术；创新

引言：水利工程是保障水资源合理调配、抵御水旱灾害的核心基础设施，防渗技术作为水利工程安全运行的关键支撑，直接关系工程稳定性与使用寿命。当前，传统防渗技术存在适应性差、耐久性不足等问题，新型技术应用不成熟，难以满足复杂地质与生态水利建设需求。基于此，本文聚焦水利工程防渗技术创新，探究创新路径并验证应用效果，对提升水利工程质量、节约水资源、推动水利事业高质量发展具有重要现实意义。

1 水利工程防渗技术现状及存在的问题

1.1 水利工程防渗技术核心分类及应用场景

(1) 按施工工艺分类：灌浆防渗技术核心是向坝体、坝基的裂缝及孔隙注入浆液，固化后形成隔水屏障，适用于各类坝体渗漏处理；防渗墙技术通过浇筑连续完整的墙体阻断渗水路径，适配深层地基及高水头水利工程；土工膜防渗技术利用高分子膜的隔水特性，广泛应用于土石坝、渠道、蓄水池等工程，防渗效率高且施工便捷。(2) 按材料类型分类：传统防渗材料中，黏土取材便捷、成本低廉，适用于中小型水利工程，普通混凝土防渗性能稳定，多用于大中型坝体主体防渗；新型防渗材料中，纳米材料、高分子复合材料防渗效果更优、适应性更强，生物基材料兼具防渗性与环保性，适用于对防渗标准高、注重生态保护的工程场景^[1]。

1.2 当前主流防渗技术的应用现状

(1) 传统防渗技术应用情况：黏土防渗因取材方便、施工简单，广泛应用于中小型水利工程，但受地质、气候影响大，存在性能不稳定、防渗寿命短等问题；普通混凝土防渗应用于大中型坝体，防渗成效显著，但施工工序复杂、成本较高；常规灌浆防渗是裂缝渗漏处理的主要手段，施工便捷，可快速封堵渗漏通道，但长期防渗耐久性一般。(2) 新型防渗技术应用进展：新型防渗材料逐步替代传统材料推广应用，智能化、主动防渗技

术开展多地试点。王甫洲水库大面积应用复合土工膜防渗，有效解决了坝体渗漏问题，运维成本大幅降低；电脉冲堤坝立体防渗技术通过智能化控制实现主动防渗，工程实践中渗漏量显著减少，取得了良好的应用成效。

1.3 水利工程防渗技术存在的核心问题

(1) 技术层面：传统防渗技术防渗效果有限、地质适应性差，复杂地质条件下难以满足防渗需求；新型技术应用不成熟、系统集成度低，智能化监测与防渗技术结合不紧密，无法实现渗漏隐患的实时预警与精准处置。(2) 施工层面：部分工程施工工艺不规范，灌浆参数设计不合理、土工膜铺设过程中易出现破损、搭接不严密等问题，直接影响防渗效果；机械化、信息化施工水平有待提升，人工操作占比高，质量控制难度大，易留下防渗隐患。(3) 其他层面：部分防渗材料耐久性不足、绿色环保性欠缺，长期使用易老化、污染环境；防渗技术标准不完善，不同工程的技术规范不统一；创新技术推广力度不足，受成本、技术门槛限制应用范围较窄；工程运维与防渗技术衔接不畅，影响防渗系统的长效运行。

2 水利工程防渗技术创新路径研究

2.1 防渗材料创新

(1) 高性能复合防渗材料研发：聚焦防渗材料性能提升，推动纳米技术与高分子材料、混凝土材料的深度融合，研发高性能复合防渗材料。重点推广纳米改性混凝土，通过在混凝土中添加纳米颗粒，优化内部孔隙结构，大幅提升材料的抗渗性、耐久性与抗冻性；大力研发双糙面HDPE复合土工膜，兼顾良好的隔水性能与抗穿刺能力，增强与坝体、地基的贴合度，有效解决传统土工膜易破损、防渗效果不稳定的问题，适配各类复杂水利工程场景。(2) 绿色生态防渗材料创新：立足生态环保理念，加大绿色生态防渗材料的研发与应用力度。重点研发生物基可降解防渗材料，以天然生物质为原料，实

现使用后可自然降解,减少对周边土壤、水体环境的污染;优化改性天然材料性能,如对膨润土进行改性处理,提升其膨胀性与隔水能力,兼具环保性与防渗性,实现防渗功能与生态保护的有机统一,满足生态型水利工程建设需求^[2]。(3)智能防渗材料研发:依托智能技术发展,研发具备自感知、自修复功能的新型智能防渗材料。核心推广微胶囊自修复混凝土,将含有修复剂的微胶囊掺入混凝土中,当防渗层出现裂缝时,微胶囊破裂释放修复剂,实现裂缝的自主修复;同时融入感知元件,实时监测防渗层的损伤情况,同步反馈至监测系统,实现防渗层损伤的“监测—修复”一体化,提升防渗系统的长效性与可靠性。

2.2 防渗施工工艺创新

(1)传统工艺优化升级:针对灌浆、防渗墙等传统防渗工艺的不足,开展参数优化与流程改进,提升施工质量与效率。优化充填式灌浆参数,结合工程地质条件科学设计灌浆压力、浆液浓度与注入量,避免出现灌浆不密实、漏灌等问题;改进自上而下分段循环式灌浆工艺,缩短施工周期,减少施工过程中的渗漏隐患,进一步提升传统工艺的防渗效果,降低施工成本。(2)新型施工工艺研发:推动施工工艺向机械化、信息化转型,研发并应用新型防渗施工工艺。推广液压抓斗成槽机防渗墙施工技术,实现防渗墙成槽的机械化作业,提升成槽效率与墙体平整度,适配深层地基防渗施工;应用“天空地水工”一体化监测施工工艺,融合无人机航拍、地面监测与水下探测技术,实现施工过程的精准控制与实时监管,及时发现并处置施工中的质量问题^[3]。(3)多技术集成施工:针对复杂地质条件下单一防渗技术难以满足需求的问题,推动多技术、多工艺的集成应用。构建立体防渗体系,如将混凝土防渗墙与土工膜防渗相结合,发挥混凝土防渗墙的深层防渗优势与土工膜的全面覆盖优势;将灌浆技术与智能监测技术集成,在灌浆防渗施工中同步布设监测设备,实时监测灌浆效果,根据监测数据调整施工参数,提升防渗系统的适配性与可靠性。

2.3 防渗监测与智能化技术创新

(1)智能化监测系统构建:融合传感器技术、大数据技术、物联网技术,构建全方位、高精度的防渗监测系统。在水利工程关键部位布设各类传感器,实时采集渗流量、坝体位移、孔隙水压力等核心参数,通过大数据技术对监测数据进行分析处理,实现渗漏隐患的提前预警;借鉴王甫洲水库“监测—预警—处置—反馈”全链条监测体系,形成闭环管理,确保渗漏隐患及时发现、快速处置。(2)智能调控技术研发:聚焦主动防渗能力提升,

研发主动防渗智能调控技术。重点推广电渗脉冲堤坝立体防渗技术,通过智能主机精准控制电渗脉冲参数,引导堤坝内部水分迁移,实现对渗漏的主动拦截与调控,大幅提升防渗效率;结合智能算法,根据监测数据自动调整调控参数,适配不同工况下的防渗需求,提升防渗技术的主动性与智能化水平。(3)数字化运维技术应用:依托BIM技术构建防渗工程数字化管理平台,实现防渗工程全生命周期的数字化监控、运维与决策支持。将防渗工程的设计参数、施工数据、监测信息等整合至BIM模型,直观呈现防渗系统的结构与运行状态;通过数字化平台实现运维流程的标准化、规范化,及时排查运维隐患,为防渗工程的后期维护、改造提供科学的数据支撑,延长防渗系统的使用寿命^[4]。

3 防渗技术创新的工程应用及效果评估

3.1 工程应用案例选取与概况

(1)案例选取原则:为全面验证创新防渗技术的适用性与可靠性,选取不同类型、不同地质条件的水利工程作为应用案例,涵盖水库除险加固、抽水蓄能电站、河道防渗三大核心场景。具体选取龙陵县杨梅坡水库(小型水库除险加固类)、山西华电福新抽水蓄能电站(大型电站防渗类)、某灌区河道防渗工程(河道防渗类),确保案例覆盖不同工程规模、地质复杂度,能够充分体现创新防渗技术在不同场景中的应用价值。(2)案例工程概况:龙陵县杨梅坡水库为小型均质土坝,总库容120万 m^3 ,坝基为粉质壤土,地质条件复杂,因建设标准低、运行年限长,坝体出现裂缝、坝基渗漏严重,渗流量超标,存在安全隐患,亟需通过除险加固采用创新防渗技术解决渗漏问题。山西华电福新抽水蓄能电站为大型工程,电站厂房、大坝均存在深层渗漏风险,地质为破碎岩层,对防渗性能、耐久性要求极高,原有常规防渗技术难以满足需求。某灌区河道防渗工程全长35km,河道两侧为砂质土壤,渗漏严重导致水资源浪费,需采用环保型创新防渗技术,兼顾防渗效果与生态保护。

3.2 创新防渗技术在案例中的应用实施

(1)技术选型与方案设计:结合各案例工程特点,科学选取适配的创新防渗技术,制定针对性施工方案。杨梅坡水库结合坝体、坝基渗漏特点,选用优化后的充填式帷幕灌浆技术,明确灌浆压力控制在1.2~1.5MPa,浆液浓度根据地质条件分段调整,制定详细施工流程与质量控制标准,确保灌浆密实。山西华电福新抽水蓄能电站采用纳米改性混凝土防渗墙+智能监测技术,设计防渗墙深度30m,同步布设智能传感器,实现防渗与监测一体化。某灌区河道采用改性膨润土防水毯(绿色生态材料),

制定分段铺设、搭接密封的施工方案,兼顾防渗与生态环保。(2)施工过程控制:聚焦创新技术施工关键环节,强化质量控制。灌浆施工中,严格开展压水试验,确定岩层渗透系数,精准调控浆液浓度与注入量,杜绝漏灌、虚灌;土工膜及防水毯铺设中,清理基层杂物,避免尖锐物体造成破损,搭接宽度控制在15cm以上,采用热焊密封处理。同时,全程采用“天空地”一体化监测手段,实时监控施工参数,及时纠正施工偏差,确保施工质量符合标准^[5]。(3)实施过程中的问题及解决措施:针对施工过程中出现的技术难题,制定科学应对方案。杨梅坡水库灌浆过程中出现浆液扩散不均问题,通过调整灌浆孔布置密度、优化浆液配比,加入纳米增强剂,改善浆液流动性与扩散性,解决渗漏隐患。山西华电福新抽水蓄能电站智能监测系统调试中出现数据传输不稳定问题,优化传感器布置位置,升级数据传输模块,建立备用传输通道,确保监测数据实时准确。某灌区河道防水毯铺设中出现搭接处渗漏,采用二次密封处理,增加压载措施,避免后期移位破损。

3.3 创新防渗技术应用效果评估

(1)性能指标评估:从渗流量、防渗耐久性、工程稳定性三大核心指标,对比创新技术与传统技术应用效果。杨梅坡水库采用优化灌浆技术后,渗流量从原来的 $85\text{m}^3/\text{d}$ 降至 $8\text{m}^3/\text{d}$,减少90%以上,防渗层预计使用寿命提升至50年,远超传统技术的30年。山西华电福新抽水蓄能电站防渗墙渗透系数降至 10^{-7}cm/s 以下,坝体位移控制在允许范围内,工程稳定性显著提升。某灌区河道渗漏量减少85%,水资源利用率大幅提高,防渗层抗老化、抗冲刷能力良好。(2)经济与社会效益评估:创新技术虽初期投资较传统技术提高10%~15%,但长期运维成本降低40%以上,杨梅坡水库每年可减少维修费用20万元,山西华电福新抽水蓄能电站避免因渗漏造成的安全事故损失,经济效益显著。社会效益方面,有效节约水资源,减少

渗漏造成的水资源浪费;保障水利工程安全运行,避免溃坝、渗漏等安全隐患;绿色生态防渗材料的应用,减少对周边土壤、水体环境的污染,保护生态平衡,实现工程建设与生态保护协同发展。(3)应用可行性总结:创新防渗技术在不同类型水利工程中均表现出良好的适用性,优化后的灌浆技术、纳米改性防渗材料、智能监测技术等,能够适配不同地质条件与工程需求。结合案例应用经验,提出优化建议:针对复杂地质工程,进一步提升多技术集成应用水平;降低新型防渗材料生产成本,扩大推广范围;完善智能监测系统的兼容性,实现多工程数据共享。为后续水利工程防渗技术创新应用提供科学参考。

结束语

综上,水利工程防渗技术创新是破解当前防渗难题、提升工程效能的关键举措。本文通过系统研究防渗技术创新路径,结合工程案例验证了创新技术的可行性与优越性,明确了高性能、绿色生态、智能化是未来发展方向。后续需进一步优化技术集成水平、降低创新成本、完善技术标准,推动创新技术广泛应用,助力水利工程实现安全、高效、生态运行,为水资源可持续利用提供坚实保障。

参考文献

- [1]张林.水利工程施工堤坝防渗加固技术[J].四川水泥,2021,(7):175-176.
- [2]吴晓燕.水利工程中水库堤坝防渗施工技术分析[J].中国高新科技,2020,(4):50-51
- [3]汤涌.水利工程施工中渠道防渗技术分析[J].科技创新与应用,2022,12(21):157-160.
- [4]白雪丽,王燕峰.水利工程施工中堤坝渗漏原因以及防渗加固技术[J].建筑与预算,2022,(6):74-76.
- [5]刘健.基于水利工程防渗施工技术应用的研究[J].居舍,2022,(12):47-50.