水利工程施工中渗水原因及防渗技术研究

翟伟杰　陆永勇
灌南县水利建筑工程有限公司　江苏　连云港　222000

摘　要：水利工程渗水是影响结构安全与长效运行的核心问题，渗水成因涵盖材料、施工、地质环境及设计管控四大维度。本文系统剖析各类渗水诱因与形成机理，重点探究混凝土、土工膜、灌浆、接缝止水四大核心防渗技术的原理与应用要点，结合实际工程案例验证复合防渗技术成效，提出原材料管控、工艺规范、智能检测等质量优化策略，为水利工程防渗施工提质增效提供技术参考。

关键词：水利工程施工；渗水原因；防渗技术

引言

水利工程是水资源调配、防洪抗旱的核心基础设施，施工防渗质量直接决定工程使用寿命与运行安全性。在复杂地质与水文环境下，渗水病害频发易引发结构开裂、地基沉降等隐患，严重制约工程效益发挥。为有效解决水利施工渗水难题，本文立足工程实际，全面梳理渗水问题成因，细化各类防渗技术应用要点，优化施工质量管控体系，助力提升水利工程防渗施工标准化、规范化水平。

1 水利工程施工常见渗水类型及成因分析

1.1 工程材料因素引发的渗水

（1）防渗材料质量不达标：施工所用混凝土、沥青、防渗土工膜、止水带等核心防渗材料，存在强度不足、抗渗等级不达标、耐腐蚀性能差等问题，材料本身具有孔隙、裂缝等先天缺陷，难以形成完整有效的防渗体系，为渗水埋下隐患。（2）材料配比与养护不合理：混凝土、砂浆等防渗主材配比失衡，水灰比过大、骨料级配不合理，导致成型结构密实度不足；施工后养护时间不足、养护方式不当，引发结构干缩裂缝、温度裂缝，形成渗水通道，削弱工程整体防渗能力。

1.2 施工工艺不规范引发的渗水

（1）基础施工质量缺陷：地基清理不彻底，残留杂物、软弱土层，地基压实度不足，后期地基沉降不均匀，导致工程结构开裂渗水；基坑开挖坡度、深度不符合设计标准，引发边坡渗漏、基底渗水，影响工程基础稳定性[1]。（2）结构施工工艺疏漏：混凝土浇筑分层过厚、振捣不密实，出现蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷；施工接缝、沉降缝、伸缩缝处理不当，止水设施安装错位、固定不牢，接缝位置成为主要渗水通道，降低结构整体性与抗渗性能。

1.3 地质与环境因素引发的渗水

（1）地质条件复杂多变：施工区域存在砂层、卵石层、裂隙岩层等透水地质，土体孔隙率大、透水性强，若未做好针对性防渗处理，极易出现渗透漏水；地基岩土结构不均匀，受力后易产生裂隙引发渗水，增加施工难度与风险。（2）环境与水文影响：施工期遭遇暴雨、地下水水位骤升，水体压力超出临时防渗结构承载范围，引发渗漏；温度骤变、冻融循环等自然环境作用，加剧工程结构开裂，扩大渗水通道，威胁施工安全与工程质量。

1.4 设计与管控因素引发的渗水

（1）防渗设计不合理：设计阶段未充分勘察现场地质、水文条件，防渗方案选型不当、防渗层厚度不足、防渗结构布局不合理，存在设计盲区，无法满足工程实际防渗需求，导致后期运行中渗水问题频发。（2）施工管控不到位：施工过程质量监督流于形式，隐蔽工程验收不严格，违规施工、工序遗漏等问题未及时整改；防渗施工工序衔接不合理，后续施工破坏已完成防渗结构，引发渗水隐患，影响工程长效运行。

2 水利工程核心防渗施工技术及应用要点

2.1 混凝土防渗技术

（1）技术原理：通过优化混凝土配合比设计，掺加高效减水剂、引气剂及矿物掺合料等外加剂，经搅拌、运输、浇筑振捣成型后，形成具备高强度等级和高度密实微观结构的混凝土防渗层。该防渗层能够有效阻断水体沿毛细孔隙和细微裂缝的渗透路径，构建起整体连续、封闭可靠的防渗屏障。该技术适用于大坝坝体、水闸闸室、输水渠道及渡槽等水工主体结构的防渗工程，在高水头承压工况下优势尤为突出。（2）施工应用要点：原材料进场须逐批检验，严格控制水泥安定性、骨料含泥量与级配，依据设计抗渗等级进行配合比试配优化，合理确定水灰比与砂率，必要时掺入膨胀剂补偿收

缩；浇筑过程应采取分层连续作业，每层厚度控制在振捣器有效作用半径以内，振捣时快插慢拔、均匀布点，严防漏振或过振引发的蜂窝、麻面及骨料离析；拆模后及时覆盖保湿养护或喷涂养护剂，养护期不少于14天，高温季节增设遮阳洒水降温，低温季节采用蓄热保温法，有效控制内外温差，规避温度裂缝与干缩裂缝的产生[2]。（3）技术优缺点：该技术结构整体性强、抗渗等级高（可达W8以上）、防渗效果持久可靠，能够与主体结构同寿命运行。但施工工序复杂、周期较长，对温度应力控制和养护条件要求极为严格，管理不善易产生裂缝失效，且一次性工程投入较高，不宜用于浅层临时防渗或地基变形活跃工况。

2.2 土工膜防渗技术

（1）技术原理：利用高密度聚乙烯（HDPE）、线性低密度聚乙烯或复合土工膜（两布一膜）等高分子化学材料，依据工程轮廓裁剪铺设于库底、边坡、渠道表面等部位，形成一层渗透系数极低（可达10^{-12}cm/s级）的连续柔性密封层。该密封层能够将水体与下卧土体或原结构完全隔离，从根本上切断水体下渗或侧渗通道，实现高效止水目标。（2）施工应用要点：铺设前须对基层彻底平整压实，清除所有尖角碎石、树根及金属碎片，对凹陷坑洞用细料填平夯实，确保基面平整度误差满足设计要求；膜材拼接应优先采用双焊缝热熔焊接工艺，焊缝宽度不小于10mm，每道焊缝须经充气法（气压0.15～0.2MPa，保持1～3分钟不降压）或真空法检测合格；铺设完成后及时按设计要求覆盖土工布缓冲层或混凝土预制板保护层，防止后续施工及运行期间膜材遭受机械刺穿、紫外线老化及化学腐蚀[3]。（3）技术优缺点：该技术施工装备简单、铺设速度快、单位面积造价经济，柔性特征使其能够较好地适应地基的不均匀沉降变形，广泛应用于渠道衬砌、蓄水池、人工湖及垃圾填埋场等工程。但土工膜抗穿刺能力和抗老化能力相对有限，在高水头长期作用下若局部受损易引发渗漏，且破损点隐蔽性强、检测修复困难，对施工过程保护及运行期维护管理要求较高。

2.3 灌浆防渗技术

（1）技术原理：采用高压灌浆泵或灌浆机，将水泥基浆液、水泥-水玻璃双液浆或化学浆液，通过钻孔或预埋注浆管以一定压力强制注入地基岩层裂隙、断层破碎带、溶洞通道及混凝土结构细微裂缝中。浆液在压力驱动下沿裂隙网络扩散填充，经凝结固化后与岩土体胶结成为整体，显著降低受灌地层的渗透系数，并同步提升其承载能力与整体稳定性。（2）施工应用要点：施工前须开展现场压水试验，查明透水层分布范围、裂隙开度及透水率，据此科学选定浆液类型、起始水灰比及外加剂掺量；灌浆采用分序加密布孔原则，实行分级逐渐升压或恒压控制方式，全程动态监测注入率与压力变化，防止压力突升引发地层劈裂或结构抬动破坏；终灌后闭浆待凝，孔口按要求封填，完工后须进行检查孔压水试验验收，对不满足防渗标准的区域及时补灌或加密钻孔复灌，直至全部合格。（3）技术优缺点：该技术可深入地层内部解决深层裂隙及隐蔽通道渗漏，兼具防渗与加固双重功效，尤其适用于岩溶发育区、断层破碎带及坝基深层承压水处理。但灌浆属于隐蔽工程，工艺环节多、操作参数敏感，对技术人员经验判断和现场应变能力要求极高，且材料消耗量大、综合造价较高。

2.4 接缝止水防渗技术

（1）技术原理：针对水工混凝土结构因温度应力、不均匀沉降或分段施工形成的伸缩缝、沉降缝及施工冷缝等薄弱环节，在接缝断面内预埋橡胶止水带、PVC塑料止水带或铜片止水，配合表面填充弹性密封胶、聚硫密封膏等材料，形成多道止水防线。该技术在适应结构一定幅度伸缩变形和剪切位移的同时，确保接缝部位可靠密封，阻止压力水体沿缝隙外渗。（2）施工应用要点：安装前须用钢丝刷和高压水枪彻底清理接缝两侧浮浆、松动颗粒、油污及积水，确保基面洁净干燥；止水带须通过专用钢筋卡具或模板夹紧装置固定在设计位置，中心偏差不超过规范允许值，搭接处采用热硫化工艺或专用冷粘剂连接，接头强度不低于母材80%；密封胶采用专用胶枪由底部向上均匀灌注，确保胶体密实饱满、与壁面紧密粘结、无气泡脱空，注胶后及时刮平并养护至完全固化[4]。（3）技术优缺点：该技术直接针对结构薄弱接缝，施工手段直接、操作灵活、见效迅速，能够有效应对结构变形对防渗体系的不利影响。但橡胶及塑料止水材料在长期运行中易受臭氧、紫外线及化学物质侵蚀而老化变硬、失去弹性，运行期须建立周期性检查更换机制，全生命周期维护投入较高。

3 水利工程防渗施工质量优化策略与工程应用

3.1 严控施工原材料质量

（1）建立严格的原材料进场检验制度，对混凝土骨料、防渗土工膜、止水带、灌浆浆液等所有防渗相关材料，进场前严格核查出厂合格证、质量检测报告及产品型式检验报告，进场后按规范频次进行抽样复检，重点检测材料抗渗等级、拉伸强度、断裂伸长率、耐化学腐蚀性等关键性能指标，不合格材料一律禁止投入使用，已进场不合格材料须立即标识隔离并清退出场。（2）根

据工程地质勘察报告、水文条件及防渗设计等级要求，科学选型防渗材料，优先选用抗渗性、耐腐蚀性、抗老化性优异的新型工程材料，如高性能复合土工膜、遇水膨胀止水条、聚合物改性水泥基防水涂料等，确保材料性能指标与工程运行环境及设计使用年限相匹配，从材料源头保障防渗工程质量。

3.2 规范防渗施工工艺流程

（1）细化各工序施工技术标准，针对混凝土浇筑振捣、土工膜铺设焊接、高压灌浆注浆、接缝止水安装等核心防渗工序，逐项编制专项施工方案及作业指导书，明确各工序施工参数、操作规范、质量控制要点及验收标准，确保施工全过程有据可依、标准明确。（2）强化施工过程工序管控，严格执行工序交接验收制度，坚持上道工序未经验收合格不得进入下道工序施工，重点加强隐蔽工程施工质量管控，对止水带预埋定位、土工膜焊缝检测、灌浆孔封堵等关键节点实行监理旁站及影像资料留存，全面杜绝违规操作及工序遗漏问题[5]。

3.3 完善施工质量管控与检测体系

（1）组建由项目技术负责人牵头的专项质量监督团队，配备专职质检员全程驻场跟踪防渗施工各环节，建立日常巡视检查与定期专项检查相结合的双重监督机制，发现质量缺陷及工艺不规范问题即时下达整改通知，明确整改责任人及时限，从源头消除渗水质量隐患。（2）积极引入智能化检测技术手段，采用渗水检测仪器、超声波无损检测仪、地质雷达等先进设备，对工程结构密实度、防渗层完整性和焊缝质量进行全面无损检测，精准定位隐蔽渗水隐患点，建立完整的检测数据档案，对不合格点位及时返工处理并复检，确保防渗施工质量全面达标。

3.4 工程案例应用与效果分析

（1）工程概况：选取某中型水库副坝防渗加固工程，坝体为均质土坝，最大坝高18.5m，坝顶长220m。工程区地质为强风化花岗岩基岩上覆粉质黏土层，坝体填筑密实度不均，运行中发现下游坝坡存在3处集中渗水点，汛期渗流量达0.8L/s，坝脚出现沼泽化，严重影响大坝运行安全。（2）防渗技术方案应用：综合采用“帷幕灌浆+土工膜复合防渗”组合方案。首先沿坝轴线进行帷幕灌浆，灌浆深度深入基岩3～5m，形成连续防渗帷幕；坝体上游坡面铺设复合土工膜，膜上浇筑C20混凝土面板保护；坝体与基岩接触带采用水泥-水玻璃双液灌浆加强封堵。施工重点为灌浆压力精准控制及土工膜与坝肩、坝基的锚固密封，难点在于坝体填筑不均条件下保证灌浆质量均匀可靠。（3）应用效果分析：防渗加固完成后进行压水试验及蓄水观测，下游坝坡渗水点全部消失，坝脚沼泽化区域干涸恢复，坝体渗流量由0.8L/s降至0.05L/s以下，降幅达94%。经一个完整水文年运行检验，防渗效果稳定，坝体浸润线明显下降。工程实践证明，帷幕灌浆与土工膜复合防渗相结合的技术方案对已建土坝渗漏治理效果显著，可为同类中小型水库除险加固提供可靠的技术参考。

结束语

本文系统分析了水利工程施工渗水的多维度成因，详解四类主流防渗技术的优劣与适用场景，结合工程实践验证了复合防渗方案的实用性。研究明确，把控材料质量、规范施工工艺、强化智能检测是防控渗水的关键。后续可结合复杂工况优化防渗技术组合，完善全周期管控机制，持续提升水利工程防渗稳定性，为水利工程安全长效运行筑牢技术根基。

参考文献

[1]温立峰,李刚,王飞.砂泥岩互层地基水利工程渗漏成因及防渗技术优化[J].水文地质工程地质,2023,50(06):112-119.

[2]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,2022,17(06):74-76.

[3]甘磊,张鑫,李青云.水利工程混凝土防渗墙施工缺陷诱发渗漏机理及防控技术[J].岩土工程学报,2024,46(03):568-575.

[4]高卫红.水利隧洞工程施工渗漏水成因及综合防渗治理技术[J].中国农村水利水电,2023,24(09):189-194.

[5]李琪珊.水利工程堤坝施工中的防渗漏加固施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,31(10):205-207.