水利水电工程防渗施工技术研究

李　辉
泗洪县水利工程有限公司　江苏　宿迁　223900

摘　要：水利水电工程防渗是保障结构长期稳定运行的核心技术环节，直接关系工程承载安全与服役年限。本文系统梳理防渗施工的核心内涵与两类技术作用路径，从地质水文、防渗材料、施工工艺三个维度明确影响防渗质量的关键因素，针对混凝土防渗、帷幕灌浆、土工膜防渗三类主流工艺的适用场景、技术要点与管控要求展开分析，从前置准备、过程动态管控、后期验收缺陷处置全流程提出标准化质量控制要点，可为复杂地质条件下水利工程防渗体系的规范化施工与渗流风险防控提供技术参考。

关键词：水利水电工程；防渗施工；施工技术

引言：我国水利水电工程建设场景覆盖高坝坝基、深部隧洞、复杂库区等多种工况，防渗施工作为全生命周期渗流控制的核心环节，其实施质量直接决定工程能否规避渗透破坏风险、实现长期安全运行。当前部分工程受隐蔽作业多、地质条件复杂等因素影响，易遗留隐性渗漏隐患，大幅提升后期运维成本。本文结合现行行业规范与主流工程实践，系统梳理防渗施工的技术逻辑、核心工艺与全流程质量管控体系，为一线防渗施工作业提供可落地的技术指引。

1 水利水电工程防渗施工核心概述

水利水电工程防渗施工的核心目的是通过系统性技术手段阻断水体渗透通道，降低动水压力、化学溶蚀及渗流作用对工程结构与地基岩土的渐进式破坏，从根源上保障工程结构的完整性、长期运行稳定性与承载安全性。防渗施工并非单一工序，而是贯穿工程前期地基处理、主体结构浇筑、附属设施安装全生命周期的关键技术体系，核心施工覆盖部位包含坝基深层防渗、坝体分层防渗、输水隧洞围岩防渗、闸室墙体结构防渗、各构件施工接缝防渗等多个关键区域，任一部位的防渗缺陷都可能引发连锁性安全风险。从施工原理维度划分，当前行业内防渗施工主要形成两类核心技术路径：（1）对原有工程结构与地基岩土进行密实化改性处理，通过高压灌注、深层搅拌等工艺填充结构内部原生孔隙、次生裂隙与岩土空隙，从根本上减少渗流通道的数量与连通性，提升原生介质自身的抗渗等级；（2）在渗流路径上增设专用防渗结构与连续隔水层，通过抗渗性能达标的特种防渗材料构建完整隔水屏障，完全阻断水体的渗透路径，将渗流量控制在设计允许的阈值范围内[1]。

水利水电工程防渗施工具备地质针对性强、隐蔽作业占比高、技术参数管控严苛的显著特点，最终施工效果受场区地质构造、防渗材料性能、工艺执行精度、现场水文环境等多重变量共同影响。若施工过程中参数管控不到位，极易遗留隐性渗漏隐患，而这类隐蔽性病害在工程投入运行后的检测与修复难度极大，不仅会大幅提升运维成本，严重时还会威胁工程整体运行安全，因此施工全流程的精细化、标准化管控是保障防渗工程质量的核心前提。

2 水利水电工程防渗施工主要影响因素

2.1 地质水文因素

地质水文条件是决定防渗施工难度与施工方案的基础因素。不同施工区域的土体结构、岩土密实度、地下水水位、水流流速存在显著差异，直接影响渗漏通道的形成与水体渗透速率。松软砂土、粉土区域土体孔隙较大，渗透性强，地下水易穿透地基形成渗漏问题；岩层裂隙发育区域，存在大量隐蔽渗透通道，防渗封堵难度更高。同时，地下水的水压大小、水流状态会直接冲击防渗结构，水压过高易造成防渗层开裂、剥离，破坏防渗体系的完整性，对施工技术与施工质量提出更高要求。

2.2 防渗材料因素

防渗材料的性能直接决定工程防渗体系的整体效果与耐久性。防渗材料需具备良好的隔水性能、抗腐蚀性能、抗老化性能与粘结性能，能够适配水工环境的长期侵蚀。若选用的防渗材料密实度不足、延展性较差，在结构轻微变形、温度变化的影响下，极易出现开裂、脱落现象，导致防渗层失效。同时，材料配比、材料存储状态也会影响施工质量，比如混凝土防渗材料配比失衡会造成结构孔隙率过高，防水材料受潮、变质会大幅降低防渗性能，进而引发渗漏问题[2]。

2.3 施工工艺因素

施工工艺的规范性与精细化程度，是把控防渗施工

质量的关键。防渗施工各工序衔接紧密，地基处理、材料铺设、浇筑压实、接缝处理等工序的操作精度，直接影响最终防渗效果。地基平整处理不到位、基底杂物清理不彻底，会导致防渗层铺设不平整、粘结不牢固；混凝土浇筑振捣不密实、养护不规范，会造成结构内部出现蜂窝、麻面、空洞等缺陷；各类防渗结构的接缝处理、收口处理工艺不标准，会形成隐蔽渗漏通道，成为工程长期运行的质量隐患。

3 水利水电工程主流防渗施工技术

3.1 混凝土防渗施工技术

混凝土防渗技术是水利水电工程领域应用最早、覆盖场景最广的基础性防渗施工技术，依托高性能抗渗混凝土的连续浇筑形成整体密实的刚性防渗结构，可适配碾压混凝土坝、闸室底板与侧墙、输水明渠衬砌、挡水重力墙等绝大多数主体结构的防渗施工需求。（1）该技术的核心作用逻辑是通过材料配比优化与施工过程管控，系统性提升硬化后混凝土的密实度、抗渗等级与抗裂性能，依靠连续成型的混凝土结构自身的物理整体性，直接阻断水体在结构内部的渗流路径。（2）正式施工前需根据工程设计防渗等级、场区环境温湿度与服役年限要求，定制化配置专用防渗混凝土，严格限定水胶比区间，优化粗细骨料的连续级配，按规范掺加适量的减水剂、膨胀剂与矿物掺合料，针对性改善混凝土拌合物的和易性，降低硬化阶段的收缩变形，提升硬化后结构的抗渗与抗裂指标。（3）浇筑作业需严格执行分层铺料、分层振捣的工艺要求，控制每层铺料厚度不超过工艺允许阈值，采用高频振捣棒逐点作业，彻底消除混凝土内部的残留孔隙与封闭气泡，保障不同浇筑层之间的结合面粘结强度，避免出现层间冷缝。（4）浇筑完成后立即启动标准化养护流程，精准管控养护环境的温度、湿度与养护周期，有效抑制混凝土表面与内部的非均匀温差裂缝，最终保障成型后混凝土防渗结构的长期运行稳定性。该技术成型结构整体性强、抗老化耐久性优异，可覆盖绝大多数常规水利水电工程的主体结构防渗需求[3]。

3.2 帷幕灌浆防渗施工技术

帷幕灌浆防渗技术是水利水电工程深层地基防渗处理的核心工艺，专门针对坝基、闸基等深部岩土基础的渗流控制，是当前复杂地质条件下深部渗漏防控的主流技术手段。（1）其核心作用机制是通过专用高压灌浆设备，将按配比制备的水泥基或化学基浆液，以设定的压力注入深部地基土体、基岩裂隙与构造破碎带内部，浆液在压力驱动下逐步填充岩土介质的原生孔隙、构造裂隙与溶蚀通道，经胶凝、固结后形成连续密实的隔水阻水帷幕，从深部阻断地下水的渗流路径，大幅降低坝基的渗透流量，同时有效控制渗透坡降，避免发生管涌、流土等渗透破坏问题。（2）正式施工前需完成高精度工程地质勘察，精准探明场区地层分布、裂隙产状、透水层厚度与渗透系数等核心参数，以此为依据确定灌浆孔的布设位置、终孔深度、排数序次与分级灌浆压力等关键工艺指标。（3）现场作业严格遵循分序加密的施工原则依次开展钻孔、灌浆工序，先通过低压灌浆完成大尺度孔隙与宽大裂隙的填充封堵，再逐级提升灌浆压力完成细微裂隙的细化渗透固结，保障浆液在目标地层内的扩散范围与充填饱满度。全段灌浆作业完成后，按工艺要求对灌浆孔进行封孔与压实处理，最终形成连续完整的深部防渗帷幕体系。该技术地质适配性强，可有效处置常规工艺无法触及的深层隐蔽渗漏通道，广泛适用于地质构造复杂、深部渗控要求严苛的水利工程基础防渗施工[4]。

3.3 土工膜防渗施工技术

土工膜防渗技术属于薄层柔性防渗技术体系，凭借材料厚度小、渗透系数极低、现场作业便捷的技术优势，目前已广泛应用于输水明渠、调蓄蓄水池、临时施工围堰、库区人工湖等水利水电附属工程的浅层防渗施工场景。（1）该技术以高密度聚乙烯、线性低密度聚乙烯等高分子合成材料制成的土工膜作为核心防渗载体，依托材料自身的极低透水性、抗化学腐蚀与抗自然老化特性，在工程结构迎水面形成连续完整的隔水隔离层，直接阻断水体向结构内部或基底的渗流路径。（2）正式铺设作业前需先完成基底预处理工序，对作业面进行全面平整与分层压实，彻底清除基底表面的尖锐石块、硬质杂物与突出棱角，必要时在基底铺设厚度符合规范要求的垫层，从源头规避后续膜体被尖锐硬物刺破的风险。（3）随后按施工方案划定的分区开展土工膜铺设作业，控制膜体舒展度，保证膜面平整无局部褶皱，相邻膜体的搭接接缝采用热熔焊接或专用胶粘接工艺处理，完成后逐一开展接缝气密性检测，确保接缝密闭无渗漏空隙。（4）膜体铺设与接缝检测合格后，需在48小时内同步开展上部保护层施工，避免土工膜长期受紫外线直射老化，同时抵御后续回填或运行阶段的外力穿刺破坏。该技术整体施工效率高，对基底的不均匀轻微变形适配性强，可高效处置水利工程浅表区域的渗漏防控需求。

4 水利水电工程防渗施工质量控制要点

4.1 施工前期质量管控

施工前期准备是防渗施工全流程质量管控的核心前

置环节，直接决定后续防渗作业的实施可行性与最终成型质量。（1）需开展高精度精细化现场勘察，全面采集施工区域的地质构造分布、地下水位动态变化、地层渗透系数、岩土物理力学参数等核心指标，结合工程主体结构形式与设计文件明确的防渗等级要求，从前文提及的混凝土防渗、帷幕灌浆、土工膜防渗等主流技术中筛选适配性最优的工艺组合，编制专项防渗施工方案，明确各工序的作业流程、工艺参数阈值与质量验收标准。（2）严格执行防渗材料进场复检制度，对混凝土骨料、灌浆浆液组分、土工膜等核心材料逐一抽样送检，核验抗渗等级、抗老化性能、耐腐蚀指标是否满足设计要求，严禁不合格材料进场。（3）同步完成灌浆设备、焊接机具等施工装备的调试校验，面向作业班组完成全流程技术交底，明确标准化操作要求，从源头消除各类前置性质量隐患。

4.2 施工过程动态管控

施工过程是防渗质量控制的核心实施阶段，需针对不同工艺特性落实全工序动态闭环管控。针对混凝土防渗施工，重点对拌合物水胶比、骨料级配、分层浇筑厚度、振捣点位间距、养护温湿度与周期进行全程旁站核验，从工艺层面规避结构内部孔隙超标、非均匀开裂等质量缺陷。（1）针对帷幕灌浆施工，严格管控钻孔偏斜率、终孔深度、分级灌浆压力、浆液水灰比与稳压灌注时长，通过分序施工的参数动态调整，保障深部裂隙充填饱满度达标。（2）针对土工膜防渗施工，重点核验基底压实度、尖锐杂物清理情况、膜面舒展度与接缝焊缝的气密性检测结果，从源头避免膜体穿刺破损、搭接缝渗漏等问题。（3）同步依托现场质量巡检与工序报验机制，实时识别并闭环整改不规范操作与隐性缺陷，确保各工序施工质量完全符合预设技术标准。

4.3 施工后期验收与缺陷处理

防渗施工作业全部完成后，需严格按照现行水利工程质量验收规范开展系统化的专项质量检测与竣工验收工作。（1）采用外观普查、钻孔取芯密实度检测、压水试验、防渗性能原位测试等多维度技术手段，对成型防渗体系进行全覆盖质量核验，重点核查结构施工接缝、防渗层与基底衔接部位、边角异形收口等常规检测易遗漏的高渗漏风险区域的施工质量。（2）针对检测过程中发现的细微裂隙、局部孔隙率超标、接缝密闭性不足等质量缺陷，第一时间制定针对性整改方案，采用补充灌浆、表面改性修补、局部加固等工艺完成闭环处置，经复检确认合格后方可进入下一道工序。（3）同步建立防渗结构成品保护机制，划定专项保护作业区域，避免后续交叉施工、外力扰动对已成型防渗体系造成二次破坏，保障防渗结构长期稳定发挥设计效能[5]。

结束语

防渗施工是水利水电工程渗流防控的核心技术支撑，其质量管控贯穿从前期勘察到后期运维的全流程，不存在单一通用的标准化工艺模板。工程实践中需结合场区地质特性、防渗等级要求与不同工艺的技术特点，针对性组合适配技术路径，严格落实全工序精细化管控要求，才能从根源上降低渗漏病害发生概率，保障防渗体系长期稳定发挥效能。后续随着新型防渗材料与智能监测技术的迭代，水利水电工程防渗施工的精准化管控水平还将进一步提升，为高坝大库等重大水利工程的长期安全运行提供更坚实的技术保障。

参考文献

[1]王天雄.水利水电工程防渗施工技术研究[J].科技与创新,2026,(5):104-106.

[2]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.

[3]陈杰.水利水电工程混凝土防渗墙的施工技术分析[J].建材发展导向,2026,24(5):121-123.

[4]张钦.全过程动态仿真技术在水利水电工程施工中的应用研究[J].工程建设与设计,2026,(1):129-131.

[5]刘训海.水利水电工程中混凝土施工技术的应用研究[J].水上安全,2026,(3):181-183.