

水利工程防渗处理施工技术的应用分析

王忠辉

宿州大唐水利建设有限公司，安徽宿州，234000；

摘要：水利工程防渗处理施工技术关乎工程结构安全与运行稳定，质量控制是工程建设的核心环节。分析防渗处理技术适用性与施工效果，结合常见渗漏问题，梳理不同地质与结构条件下的技术选型思路，研究帷幕灌浆、防渗墙及复合防渗措施的施工要点与管控方式。依托施工阶段的质量管控与技术优化方式，拟定提升防渗效能与工程耐久性的实施方案，为水利工程施工提供技术支持。

关键词：水利工程；防渗处理；施工技术；质量控制；灌浆技术

DOI：10.69979/3060-8767.26.05.071

引言

水利工程建设规模持续拓展，对结构安全与长效稳定划定更高标准，渗漏问题是影响工程性能的核心因素。防渗处理技术是保障工程质量的关键方式，施工水准直接决定工程运行成效与使用年限。各类地质条件与工程类型对防渗举措提出差异化需求，技术选型与施工管控更具复杂性。立足施工实践的关键环节开展系统分析，可明晰技术应用重点，细化施工流程，强化整体工程质量与安全管控能力。

1 水利工程渗漏问题及成因分析

1.1 地质条件对渗漏的影响

水利工程所在地层差异显著，地质条件是界定渗漏形式与防渗难度的核心要素。坝基、堤身或渠道沿线分布砂卵石层、强风化岩层、断裂带及溶蚀裂隙时，地下水易沿孔隙、节理与裂缝构成渗流路径，造成扬压力上升、局部淘刷加重，降低地基承载能力。部分工程区域软弱夹层分布无规律，空间连续性不足，多被上覆土体或岩层包裹，隐蔽特征突出。基坑开挖作业中，表层查验无法及时判定其实际分布范围与力学参数，即便契合常规验收要求，内部结构疏松、渗透性能偏高的问题也未得到妥善处置。工程蓄水运行阶段，水头压力持续提升，渗流路径随软弱夹层延伸，易引发局部渗压上升与浸润线异动，干扰地基稳定状态，还可能出现不均匀沉降或局部渗透损毁问题。

防渗处理施工环节，地质勘察数据的精准度直接作用于技术方案的适配性，面对透水性偏高的覆盖层，可借助帷幕灌浆、截渗墙或高压旋喷构筑连续防渗结构；岩基裂隙发育区域，需把控灌浆压力、浆液扩散范围与孔隙排布，规避漏灌、串浆及空洞留存问题。忽略地层

渗透系数、地下水补给条件与不良地质构造的综合研判，防渗设计及施工方案适配性不足，无法契合工程实际状况。各类地层渗透性能差距较大，未开展层级划分与参数测算，易出现防渗范围管控缺失或处理深度偏离的情况。地下水补给力度与流向变动会持续作用于渗流场，断层、裂隙带等不良地质构造易构成隐蔽渗流路径。施工工艺契合规范标准，也无法构筑连续密实的防渗结构，降低整体抗渗能力，威胁工程长期运行安全。

1.2 结构与施工因素

渗漏问题并非全部来自地基条件，结构设计欠缺合理性也会加剧水利工程的渗透风险。部分工程防渗体系布设存在截渗深度不够、连接节点处理不到位、伸缩缝止水设计有缺陷等问题，结构受运行荷载与水压力共同作用易形成薄弱区域。坝体与坝基、闸室与翼墙、衬砌板与基底间无法实现有效封闭，界面位置便会成为渗流扩散的主要路径。不同结构的材料特性与受力状态存在区别，接触面易产生微裂隙或结合疏松问题，水压力长期作用下，这类薄弱部位会逐步延展，形成局部集中渗流区域。渗流沿接触面蔓延会加重局部冲刷，也会降低结构整体稳定程度，极端情况会引发接缝开裂、表层剥蚀与不均匀变形，对工程安全运行造成负面影响。

施工环节对结构防渗性能的影响更具直接性，模板偏位、振捣密实度不足、分层填筑厚度超标、碾压遍数不够等问题，会让混凝土或土体内部出现蜂窝、架空与松散区域，拉低整体抗渗标准。止水带安装出现扭曲、位移或焊接不严密，蓄水后极易形成贯通式渗水通道。实际施工阶段需关注新旧结构结合面的凿毛处理、界面剂施工与接缝封闭效果，依托工序验收、过程监测与隐蔽工程记录，确保设计方案落地为稳定可靠的防渗结构。

1.3 材料性能与施工质量关系

防渗材料性能是保障施工成效的关键条件,各类材料的物理力学指标影响结构抗渗能力与使用耐久度。灌浆材料的水灰比、凝结时间、流动度与结石强度,作用于浆液在裂隙内的扩散、充填及固结状态;混凝土衬砌材料抗渗等级偏低、骨料级配失衡或外加剂适配性不佳,会在温度应力与干缩作用下产生微裂缝。土工膜、膨润土防水毯等柔性材料具备隔水特性,抗穿刺能力与接缝焊接质量不达标,便无法维持长效封闭作用。

规范施工是发挥材料性能的核心前提,现场拌和、运输、铺设及养护环节管控缺失,都会降低材料固有性能。灌浆施工时浆液离析、返浆异常或终灌标准把控不当,会造成防渗帷幕连续性欠缺;混凝土浇筑养护时长不足,表层失水会弱化结构抗裂能力;土工膜铺设时基层处理不平、焊缝检测落实不到位,会留存渗漏风险。材料检验、配合比管控、施工参数调节与现场质量监测相互配合,构建起从选材到成型的全流程防渗质量管控体系。

2 防渗处理施工技术及应用路径

2.1 帷幕灌浆技术应用要点

帷幕灌浆是水利工程防渗处理中应用广泛的基础工艺,依托钻孔、注浆与固结作用,在坝基及建筑物基础内部构筑连续稳定的低渗透防渗屏障。该技术多用于岩基裂隙发育、透水层分布繁杂、局部带有断层破碎带的工程结构部位。施工阶段结合地层渗透系数、裂隙发育状况与地下水活动特点,合理设定孔距、排距、孔深与帷幕轴线方位,确保浆液扩散区域彼此搭接,杜绝防渗空白区域,增强整体截渗效果。

现场作业时,灌浆压力、浆液配比与终灌标准是质量管控的核心要素,压力偏小会造成裂隙内部充填不够饱满,压力偏大则易引发地层抬动、冒浆或串浆问题,破坏帷幕整体结构。面对细微裂隙与强透水地层,可运用分序加密、分段压水试验与变浆灌注方法,提升浆液可灌性能与结石密实状态。工程完工后借助检查孔布设、压水试验操作与渗透指标检测,核验帷幕连续状态与防渗作用,保障灌浆体具备抗渗、固结与补强的综合效用。

2.2 防渗墙施工工艺控制

防渗墙施工技术多用于覆盖层较厚、坝基透水性较强或地下渗流通道较为集中的区域,可沿工程轴线构筑垂直连续的阻水结构,切断或延长渗流路径,减小渗透坡降^[2]。混凝土防渗墙、塑性混凝土防渗墙及地下连续墙是该技术的常用应用形式。槽孔成型质量直接决定墙体整体性能,槽壁稳定控制不当会引发塌槽、缩颈或孔

斜超限问题,造成墙体厚度不均、接头失效,降低防渗体系的连续性与可靠性。

施工控制聚焦成槽、清孔、接头处理、混凝土浇筑四大关键环节。泥浆护壁的黏度、比重和含砂率需保持稳定,满足槽壁支护的基础要求,避免孔壁出现失稳情况。清孔质量影响墙体与基底的结合效果,沉渣厚度超标会弱化墙底封闭能力,形成渗流薄弱区域。浇筑阶段采用导管法完成连续灌注作业,合理管控埋管深度与混凝土坍落度,规避离析、夹泥及断桩等质量问题。槽段接头部位需强化止水构造与搭接精度管控,保障墙体纵横向形成完整闭合防渗结构,依托各环节协同管控,让防渗墙发挥稳定阻水作用,适配水利工程长期运行的防渗需求。

2.3 复合防渗措施组合运用

单一防渗技术置于复杂地质环境,普遍存在适应范围受限的问题,复合防渗措施组合运用,能更好满足水利工程多层次防渗核心需求。覆盖层、岩基与结构接触带并存的工程部位,需将帷幕灌浆、防渗墙、土工膜铺设及排水减压措施协同布置,构建截、堵、排、固相融的综合防渗处理体系。这类组合模式可稳步提升各层位抗渗能力,兼顾地基加固、渗压控制与结构稳定核心要求,让防渗系统具备更贴合工程实际的整体适配性。

复合防渗落地核心在于各工艺衔接精度与施工时序排布,防渗墙与帷幕灌浆搭接不足,连接区域极易形成渗流绕渗通道;柔性防渗材料与刚性结构接触面处理不到位,还会因变形不协调引发局部结构失稳。工程实践中,需按分区渗控目标匹配适配技术组合,加深高渗透区截渗施工深度,强化接缝部位密封处理力度,渗压集中区同步布置配套反滤与排水设施。全程动态监测渗流量、孔隙水压力及沉降变形数据,及时微调校正施工参数,保障复合防渗体系长期发挥稳定持久的工程防渗效能。

3 防渗施工质量控制与效果提升

3.1 施工过程关键环节管理

水利工程防渗处理能否达成预期成效,核心取决于施工全过程关键环节的管控力度。现场作业并非简单的工序叠加,需围绕测量放样、基础处理、材料进场、工艺落地、隐蔽验收搭建连贯的质量管控链条。基面清理不到位,软弱层、浮渣及积水未彻底清理,后续防渗体与原状地基便无法紧密贴合,难以形成完整受力与防渗整体。钻孔偏斜超标、槽孔深度不足、铺设面平整度失控等细节疏漏,都会直接破坏防渗结构的封闭效果与整

体稳定性。

细部管控不严,蓄水运行后极易暴露渗流集中、局部浸润、接触面漏水等质量隐患,直接干扰工程长效运行。筑牢防渗施工实体质量根基,现场管理需细化至每一项工序参数与具体责任落实环节。灌浆作业全程实时记录进浆量、回浆状态、终孔深度与单位吸浆量,严控漏灌、欠灌及地基异常抬动问题;防渗墙施工紧盯成槽垂直度、泥浆性能指标与混凝土连续浇筑时长,规避夹泥、断墙、接头薄弱等缺陷;土工膜与止水构件安装重点强化焊缝检测、搭接宽度复核及成品防护,依托旁站监督、试验检测、影像留存、隐蔽工程专项验收,把质量风险前置管控在施工阶段,降低后期返修损耗,让防渗处理成效真正落地工程实体,保障水利工程防渗性能长期稳定达标。

3.2 技术优化与施工组织协调

防渗处理施工涵盖多道工艺交叉作业,技术优化与施工组织协调,直接决定工程推进效率与成型质量。各类防渗技术对设备配置、作业空间、施工顺序及环境条件的要求差异显著,组织安排失当,极易引发工序冲突、机械等待与局部返工等问题^[1]。坝基灌浆、防渗墙成槽、基面封闭及排水设施施工多集中于同一区域,未结合地层特征与结构布置做动态统筹,会拉低现场资源利用率,还可能因交叉扰动引发孔壁失稳、浆液串通或基底破坏,削弱整体防渗成效。

技术优化核心依托工程实际,对施工参数、工艺衔接与资源投放做针对性调整。高渗透覆盖层施工,可通过加密孔序、优化浆液级配、调整灌浆节奏提升封堵效率;狭窄作业面与复杂边界条件下,需提前划分流水作业区,明确钻机、搅拌系统、运输设备及检测人员的进退场时序。施工阶段需搭建技术交底、监测反馈与设计复核的联动机制,现场出现漏浆、塌孔、墙体偏位或渗压异常时,可快速判定原因并修正方案。技术与组织双向协同发力,能切实提升防渗施工的连续性、适应性与执行精度。

3.3 工程运行阶段防渗效果评价

防渗处理施工完毕后,质量管理工作仍需持续推进,工程投入运行后的效果评价,是检验防渗技术实际应用成效的核心依据。水利工程处于蓄水、泄水及长期水位波动的工况下,防渗体系会持续承受渗透压力、温度变化与结构变形的多重作用,实际运行性能需依托监测数

据完成客观判定。仅依靠竣工验收结果开展静态评价,无法及时察觉潜在的渐进性渗漏问题。运行阶段需结合渗流量、孔隙水压力、浸润线位置、扬压力变化及坝体变形等多项指标,对防渗结构的稳定性与完整性展开综合分析,判定其是否契合设计控制标准。

评价环节需兼顾连续监测与综合研判,杜绝孤立分析单项监测数据。排水量短期上升,不直接代表防渗体系失效,需结合库水位变动、降雨入渗、地基回弹及温度应力展开联动分析;局部监测点数值异常升高,大概率提示防渗帷幕存在薄弱区段、接头封闭不到位或材料性能老化问题。运行期间排查出的隐患,需及时落实补强灌浆、局部封堵、排水疏导及监测加密等处置手段,遏制渗流破坏范围持续扩大。搭建运行期专项评价机制,能将防渗处理从单次施工行为,转变为可全程追踪、可动态修正的长期质量保障体系。

4 结语

本文围绕水利工程防渗处理施工技术应用展开系统分析,梳理探讨渗漏成因、技术实施路径及施工质量控制等核心内容。归纳帷幕灌浆、防渗墙与复合防渗措施的实操应用要点,结合施工管理及运行评价机制,明确提升防渗效果的核心把控方向。相关内容可为实际工程优化施工组织、筑牢防渗质量提供可行参考,切实保障水利工程长期平稳稳定运行。

参考文献

- [1] 黄小婷,高阳.水利工程堤坝多维防渗施工技术分析[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造·采购革新专题.湖北省汉江河道管理局潜江东荆河管理分局;湖北省汉江河道管理局泽口闸管理分局;.,2025:1169-1173.
- [2] 王玉建,朱光明,侯昌秋.复杂地质条件下水利工程地基处理施工方法探析[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造·采购革新专题(第三册).青岛瑞源工程集团有限公司;青岛德泰建设工程有限公司;.,2025:255-259.
- [3] 向健.水利工程中堤防防渗施工技术的应用与探讨[C]//广西网络安全和信息化联合会.第十四届工程技术管理与数字化转型学术交流会议论文集(上册).汕尾市粤源水利建设监理有限公司;.,2025:564-566.