

防渗技术在水利工程施工中的应用

刁兆坤¹ 张希²

1. 菏泽市水务集团有限公司 山东 菏泽 274000

2. 菏泽市水务集团万福供水有限公司 山东 菏泽 274000

摘要: 在水利工程建设中,防渗技术是保障工程安全性、耐久性与稳定性的关键环节。本文系统探讨了防渗技术在水利工程施工中的应用,分析了垂直防渗技术、水平防渗技术及新型防渗技术的原理与特点,总结了施工前准备、过程质量控制、材料管理等应用要点,并展望了材料高性能化与环保化、施工智能化与精细化、多技术融合的发展趋势。研究旨在为水利工程防渗施工提供技术参考,提升工程抗渗性能与综合效益。

关键词: 防渗技术; 水利工程; 施工应用

引言: 水利工程作为水资源调控与利用的核心基础设施,其防渗性能直接关系到工程安全与使用寿命。随着水利工程规模扩大与环境条件复杂化,渗漏问题可能导致地基沉降、结构失稳甚至溃坝等严重后果,因此防渗技术的合理应用至关重要。本文结合工程实践,梳理了当前主流防渗技术体系,剖析其施工要点与适用场景,并结合行业发展趋势,探讨防渗技术的创新方向。通过对防渗技术全流程的分析,旨在为水利工程设计与施工提供理论支撑,推动防渗技术在提升工程质量、保障水利设施长期安全运行中的深度应用。

1 水利工程施工中应用防渗技术的重要性

在水利工程施工中,防渗技术的应用具有不可替代的重要意义,是保障工程安全、延长使用寿命、提升综合效益的核心环节。首先,防渗技术直接关系到工程结构安全。水利工程蓄水后,水体对坝体、地基产生的渗透压力若得不到有效控制,可能引发管涌、流土等渗透破坏,严重时导致坝体塌陷、溃决,威胁下游人民生命财产安全。例如,土石坝工程若防渗措施不当,水流长期渗透会使坝体材料强度下降,增加滑坡风险。其次,防渗技术是提高工程经济效益的关键。有效防渗能够减少水资源渗漏损失,保障工程蓄水量与输水效率,降低因渗漏导致的维护成本与水资源浪费。以大型调水工程为例,通过防渗技术可显著减少沿途水量损耗,提升供水保障能力。此外,防渗技术对生态环境保护意义重大。避免水体渗漏引发的周边土壤盐碱化、沼泽化,能够保护区域生态平衡,防止因地下水位异常变化导致的植被破坏与地质灾害。因此,在水利工程施工中,必须将防渗技术贯穿于设计、施工、运维全过程,筑牢工程安全防线^[1]。

2 水利工程施工中主要防渗技术分析

2.1 垂直防渗技术

2.1.1 深层搅拌桩防渗墙技术

深层搅拌桩防渗墙技术是利用深层搅拌机械,将固化剂(水泥、石灰等)与地基土强制搅拌,在土中形成连续的水泥土桩体,桩体相互搭接形成防渗墙体。该技术通过固化土体颗粒,降低土体渗透性,从而达到防渗目的。其适用于软土地基的防渗处理,尤其在中小型水利工程中应用广泛。深层搅拌桩防渗墙施工对周边环境影响小,成本较低,且施工效率高,能有效提高地基承载力,同时增强防渗性能。

2.1.2 高压喷射灌浆防渗技术

高压喷射灌浆防渗技术借助高压设备,将水泥浆液等以高速喷射流形式注入地层,冲击破坏土体并与土颗粒混合,凝固后形成具有一定强度和防渗性能的固结体,形成连续防渗帷幕。该技术可适应多种复杂地质条件,无论是砂层、粉土层还是卵石层都能适用。其施工灵活性强,能根据实际需求调整喷射参数,控制防渗体的形状和尺寸,形成的防渗结构整体性好、防渗效果佳,常用于大坝、水库等重要水利工程的防渗加固。

2.1.3 地下连续墙防渗技术

地下连续墙防渗技术通过专用成槽设备,沿防渗设计轴线在地下开挖出狭长的深槽,在槽内吊放钢筋笼,采用导管法浇筑水下混凝土,逐段连接形成连续的钢筋混凝土墙体。该墙体强度高、防渗性能优越,可承受较大的水土压力。适用于深厚覆盖层地基和对防渗要求极高的大型水利工程,如大型水库、水电站等。地下连续墙不仅防渗效果好,还可作为挡土、承重结构,具备多功能性,但施工成本相对较高,技术要求也更为严格。

2.2 水平防渗技术

2.2.1 黏土铺盖防渗技术

黏土铺盖防渗技术是利用黏土透水性低的特性,在

水利工程基础或坡面铺设一定厚度的黏土垫层,形成防渗层。施工时需严格控制黏土的含水量和压实度,通过分层铺设、碾压密实,使其渗透系数满足设计要求。该技术材料来源广泛、成本低廉,适用于中小型水库、渠道等工程的防渗处理,尤其在黏土资源丰富地区优势显著。但黏土易受干湿循环、冻融影响产生裂缝,需配合排水设施,且不适用于渗透性过高的地基,使用时需充分评估地质条件。

2.2.2 土工膜防渗技术

土工膜防渗技术采用高密度聚乙烯(HDPE)、聚氯乙烯(PVC)等高分子材料制成的防渗膜,通过焊接或黏合形成连续的防渗层,阻隔水体渗透。该技术防渗性能优异,抗渗能力强,且具有质轻、耐腐蚀性好、施工便捷等特点。施工时需将土工膜与基层紧密贴合,处理好接缝与锚固,防止膜体移位或破损。其广泛应用于渠道、蓄水池、尾矿坝等工程,尤其适用于对防渗要求高且地基条件复杂的项目,是现代水利工程中常用的高效防渗手段。

2.3 新型防渗技术

2.3.1 纳米复合防渗技术

纳米复合防渗技术通过将纳米级材料(如纳米二氧化硅、纳米黏土等)与传统防渗材料复合,显著改善材料的微观结构和性能。纳米颗粒的加入,有效填充材料孔隙,降低渗透系数,同时增强材料的力学强度、耐久性和抗老化性能。该技术制备的防渗材料,如纳米复合土工膜、纳米改性混凝土,具有更高的防渗等级和更长的使用寿命。在水利工程中,纳米复合防渗技术适用于对防渗和耐久性要求极高的关键部位,如大坝核心防渗区,为工程安全提供长效保障。

2.3.2 智能灌浆防渗技术

智能灌浆防渗技术融合传感器技术、自动化控制和大数据分析,实现灌浆过程的精准控制与实时监测。施工时,通过在灌浆管路和地层中布置压力、流量、温度等传感器,实时采集数据并反馈至控制系统,动态调整灌浆参数,确保浆液均匀扩散、密实填充缝隙。同时,利用物联网和人工智能技术分析灌浆数据,预测潜在渗漏风险,优化施工方案。该技术克服了传统灌浆的盲目性,提升防渗效果和施工效率,在复杂地质条件的水利工程防渗加固中展现出巨大应用潜力^[2]。

3 防渗技术在水利工程施工中的应用要点

3.1 施工前的准备工作

施工前的充分准备是保障防渗工程顺利开展的基础。首先,需开展详细的地质勘察工作,通过钻探、物

探等手段,准确掌握施工区域的地质结构、土层分布、地下水水位及流向等信息,为防渗技术选型提供科学依据。例如,若地基存在流沙层,则需优先选择适应性强的高压喷射灌浆防渗技术。其次,依据工程设计要求和地质条件,制定合理的施工方案,明确防渗工艺、施工流程、质量标准及安全措施。同时,组织施工人员进行技术交底与安全培训,确保其熟悉施工工艺和操作规程。此外,做好材料与设备的筹备工作,严格检查防渗材料的质量证明文件,对水泥、土工膜等关键材料进行抽样复检;调试施工设备,保证深层搅拌桩机、灌浆泵等设备性能稳定,避免因设备故障影响施工进度与质量。

3.2 施工过程中的质量控制

施工过程中的质量控制是保障防渗效果的核心环节。在施工工艺执行方面,需严格按照规范操作,例如深层搅拌桩施工时,控制搅拌深度、提升速度和水泥掺入量,确保桩体均匀性与强度达标;土工膜焊接时,保证焊接温度、速度和压力参数准确,避免出现虚焊、漏焊。同时,建立全过程质量监督机制,设置质量控制点,对关键工序进行旁站监理,实时记录施工参数与质量数据。加强施工环境管理,如在雨天施工时,采取防雨措施保护防渗材料和施工面,避免雨水冲刷影响施工质量。此外,定期对施工人员进行操作技能考核,确保其规范作业,及时纠正违规操作行为,从人员、工艺、环境等多维度保障施工质量,防止因过程管控不严导致渗漏隐患。

3.3 施工后的检测与维护

施工后的检测与维护是确保防渗工程长期稳定运行的关键。检测方面,采用多种技术手段对防渗效果进行评估,如利用注水试验、物探法检测防渗墙的渗透系数和完整性;通过外观检查、无损检测判断土工膜是否存在破损。对检测发现的渗漏点或质量缺陷,及时制定修复方案,采用灌浆补强、补丁修复等措施进行处理。维护阶段,建立长期监测系统,实时监测水位、渗流量、应力应变等数据,利用信息化技术分析数据变化趋势,预测潜在渗漏风险。同时,定期对防渗工程进行巡查,清理周边杂物,防止尖锐物体刺穿防渗层;对老化、破损的防渗材料及时更换,对排水设施进行疏通维护,确保其正常运行,延长防渗工程使用寿命,保障水利工程长期安全稳定。

3.4 防渗材料的合理选择与管理

防渗材料的性能直接决定工程防渗效果,合理选择与管理至关重要。选择材料时,需综合考虑工程需求、地质条件和成本因素。例如,对于小型渠道防渗,可

选用性价比高的黏土或复合土工膜；而大型水库大坝核心区域，则需采用耐久性强、防渗等级高的混凝土防渗墙或新型纳米复合材料。同时，严格把控材料采购渠道，优先选择信誉良好的供应商，要求提供质量合格证明和检测报告。材料进场后，按规范进行抽样检验，对不合格材料坚决退场。在材料储存与运输过程中，采取防潮、防晒、防破损措施，如土工膜应存放在干燥通风处，避免暴晒老化；水泥需防潮堆放。此外，建立材料台账，记录材料进场、使用、剩余情况，实现材料全生命周期管理，确保材料质量可靠、使用可追溯。

3.5 防渗施工工艺的优化与创新

随着水利工程建设需求升级，防渗施工工艺的优化与创新成为必然趋势。一方面，通过总结工程实践经验，改进传统工艺。例如，对深层搅拌桩施工工艺进行优化，采用多轴搅拌技术提高桩体搭接精度和防渗效果；改良高压喷射灌浆工艺，引入摆动喷射、定喷等方式，适应复杂地质条件。另一方面，积极探索新技术、新设备的应用，如利用三维建模和BIM技术进行施工模拟，优化防渗工程设计与施工方案；推广智能化施工设备，实现灌浆压力、搅拌速度等参数的自动调节与精准控制。此外，加强产学研合作，推动新型防渗技术成果转化，将纳米复合防渗、智能灌浆等前沿技术应用于工程实践，通过技术创新提升防渗施工效率与质量，降低施工成本，为水利工程防渗提供更可靠的技术支撑。

4 水利工程防渗技术的发展趋势

4.1 材料的高性能化与环保化

未来水利工程防渗材料将朝着高性能化与环保化方向发展。高性能化体现在材料力学性能、耐久性和防渗性能的显著提升，如纳米复合材料通过微观结构优化，大幅降低渗透系数，增强抗老化和抗侵蚀能力；新型高分子聚合物土工膜兼具高强度与高柔韧性，适应地基变形能力更强。环保化趋势则聚焦于材料的绿色生产与可持续性，研发可降解防渗材料，减少传统化工材料对环境的潜在污染；推广工业废料再生利用，将粉煤灰、矿渣等用于制备环保型防渗混凝土，降低资源消耗与碳排放。同时，材料性能检测与标准体系也将进一步完善，确保新型材料在水利工程中的安全可靠应用。

4.2 施工技术的智能化与精细化

随着信息技术与自动化技术的发展，水利工程防渗施工将向智能化、精细化方向迈进。智能化体现在施工全过程的智能管控，利用物联网、大数据和人工智能技术，实现施工设备的自动化操作与参数智能调节。例如，智能灌浆系统可实时监测灌浆压力、流量，自动优化灌浆方案；无人机与三维激光扫描技术辅助施工测量与质量检测，提高施工精度。精细化则强调施工工艺的精准控制，通过高精度机械设备和先进施工方法，确保防渗结构的尺寸精度与密实度。如数字化深层搅拌桩施工技术，可精确控制桩体深度、搅拌均匀度，有效提升防渗效果，降低人为因素导致的质量风险。

4.3 多技术融合与综合应用

面对复杂地质条件和高标准防渗需求，多技术融合与综合应用成为未来发展的重要方向。不同防渗技术将根据工程特点优势互补，如在深厚覆盖层地基中，结合地下连续墙的高强度与高压喷射灌浆的灵活性，形成复合防渗体系；在渠道防渗工程中，将土工膜与黏土铺盖结合，兼顾防渗性能与经济性。同时，防渗技术与其他工程技术深度融合，如将防渗设计与BIM技术结合，实现工程全生命周期的可视化管理；与生态修复技术结合，开发生态型防渗方案，减少工程对周边环境的影响^[3]。

结束语

防渗技术作为水利工程施工的核心技术，其应用成效直接关乎工程安全与效益。从传统垂直、水平防渗技术的成熟应用，到纳米复合、智能灌浆等新型技术的创新突破，防渗技术体系正不断完善。施工过程中，通过严格把控准备、施工、检测等环节，合理选择材料与优化工艺，可有效提升防渗效果。

参考文献

- [1]段凯涛.浅析水利工程建设施工中防渗技术的应用[J].建筑工程技术与设计,2019,(36):2778.
- [2]李燕.水利工程施工中防渗技术的应用分析[J].农业科技与信息,2019,(24):96-97.
- [3]苏敏.关于水利工程施工中防渗技术的应用[J].建筑工程技术与设计,2019,(31):2496.