

水利工程施工中防渗墙施工技术及质量控制

叶彪

中国水利水电第四工程局有限公司 青海 西宁 810000

摘要: 水利工程作为国家基础设施的重要组成部分,其安全稳定运行直接关系到国计民生。本文以水利工程施工中的防渗墙技术为核心,系统阐述了防渗墙施工技术的作用及主要方法,包括链斗法、射水法、锯槽法、多头深层搅拌水泥土工艺及高压喷射灌浆法等。针对不同地质条件,分析了各技术的适用性及质量控制要点,涵盖泥浆固壁、清孔换浆、混凝土浇筑、接头处理及异常情况处理等关键环节。进一步构建了防渗墙施工质量控制体系,强调目标导向、原则遵循与组织架构支撑,提出全周期动态管控策略。为水利工程防渗处理提供了理论依据与实践指导。

关键词: 水利工程施工; 防渗墙施工技术; 质量控制要点

引言: 防渗墙作为水利工程中控制渗透破坏的关键结构,其施工技术与质量控制显得尤为重要。随着水利工程的不断推进,防渗墙施工面临着更为复杂的地质条件与更高的技术要求。本文旨在深入探讨防渗墙施工技术的核心原理、主要方法及其质量控制要点,通过构建科学、系统的质量控制体系,为防渗墙施工提供技术指导与质量保障。旨在提升防渗墙施工质量,保障水利工程的安全稳定运行,推动水利工程建设的高质量发展。

1 防渗墙施工技术作用

防渗墙施工技术在水利工程中具有以下不可替代的作用。(1) 保障工程安全。在堤坝、水库等工程中,地下水渗透可能导致坝体滑坡、渗透变形等安全隐患,防渗墙通过阻断渗透通道,有效降低渗透压力,提升工程结构的抗渗稳定性。(2) 延长工程寿命。地下水渗透会加速工程材料的侵蚀与劣化,防渗墙的阻隔作用可减少渗透水流对坝体或地基的冲刷,延缓结构老化,降低后期维护成本。(3) 优化工程效益。通过减少渗漏损失,防渗墙可提高水库的蓄水能力,保障灌溉、发电等功能的正常运行。防渗墙技术还可与生态修复措施结合,实现工程与环境的协调发展^[1]。减少渗漏对周边地下水环境的影响,在复杂地质条件下,防渗墙施工技术的灵活性与适应性进一步凸显了其技术优势。

2 防渗墙主要施工技术

2.1 链斗法

链斗法作为防渗墙施工的传统工艺,其核心在于利用链斗式开槽机连续挖掘土体形成槽孔,并通过泥浆护壁防止槽壁坍塌,最终浇筑混凝土形成连续防渗墙。该方法在沙土、砂砾石等松散地层中应用广泛,尤其适用于地层稳定性较差、渗透系数较大的区域。链斗式开槽机由链斗、链条、动力装置及导向装置组成。链斗通过

链条传动实现旋转运动,连续挖掘土体,挖掘深度可达30~50米,槽孔宽度一般为0.6~1.2米。施工时,需在槽孔两侧建造混凝土导墙,以控制槽孔垂直度与槽口宽度。链斗机沿导墙轨迹连续挖掘,同步注入泥浆护壁,防止槽壁坍塌。槽孔成型后,采用抓斗或反循环钻机清除槽底沉渣,置换槽内泥浆,确保槽底清洁。随后吊装预制的钢筋笼,通过导管法浇筑混凝土,形成连续防渗墙。链斗法的质量控制要点如下:泥浆性能需严格控制,比重、粘度需满足地层稳定性要求,防止槽壁坍塌;槽孔垂直度通过导墙定位与链斗机导向装置控制,偏差需 $\leq 1/200$,确保防渗墙结构稳定;混凝土浇筑时,导管理深控制在2~6米,确保混凝土连续、均匀填充,避免离析或空洞。

2.2 射水法

射水法是一种以高压水流切割土体形成槽孔,并通过成型器修整槽壁后浇筑混凝土形成防渗墙的施工技术。该方法凭借其高效、精准的特点,在砾土、粘土及砂砾石等地层中应用广泛。射水法的核心设备包括造孔机(含高压水泵、射水管)、成型器及混凝土浇筑系统。施工时,造孔机将水压提升至15~25MPa,通过射水管以高速水流冲击土体,形成直径0.8~1.5米的槽孔。高压水流可有效切割砾石、粘土及砂砾石,但在不同地层中需采取针对性措施。在砾土层中需控制射水压力,避免槽壁坍塌;在粘土层中需增加泥浆护壁,防止槽壁缩径;在砂砾石层中需配合泥浆循环系统,及时排出切割产生的泥沙。槽孔成型后,成型器沿槽孔轨迹下放,修整槽壁并清除松散土体,确保槽壁光滑平整。随后采用导管法或泵送法浇筑混凝土,形成连续防渗墙。成型器导向装置可控制槽孔垂直度,偏差需 $\leq 1/300$,以保证防渗墙的结构稳定性。射水法的质量控制要点如下:根据

地层特性调整射水压力与流量,确保切割效率与槽壁稳定性;优化混凝土配合比,确保浇筑质量;施工过程中需持续监测泥浆性能,防止槽壁失稳。射水法凭借其适应性强、施工效率高的优势,成为防渗墙施工的重要技术手段,尤其适用于复杂地质条件下的防渗工程。

2.3 锯槽法

锯槽法利用锯槽机通过锯齿状刀具切割土体形成槽孔,刀具旋转与前进运动结合,切割效率可达20-30米/天。锯槽机由刀架、动力装置、行走机构及泥浆系统组成,刀架宽度0.6-1.5米,切割深度10-30米。锯槽法在粘土、砂土地层中具有显著优势。其成墙深度大,可一次成槽至设计深度,减少接缝数量。槽壁光滑,锯齿切割减少对槽壁的扰动,降低塌孔风险。质量可控,槽孔垂直度偏差 $\leq 1/500$,混凝土浇筑质量均匀。锯槽法的质量控制要点包括:刀具磨损需定期监测,及时更换以保证切割效率;泥浆性能需控制,粘土层中需增加泥浆粘度,防止槽壁缩径;混凝土浇筑需连续,采用泵送法避免冷缝产生。

2.4 多头深层搅拌水泥土工艺

多头深层搅拌水泥土工艺通过搅拌桩机同时驱动多个钻头钻进,将水泥浆与原位土体强制搅拌混合,形成水泥土防渗墙。搅拌桩机钻头数量一般为2-4个,钻进深度可达20-30米,水泥掺入比15%-25%。该工艺在沙土、淤泥和砂砾层中应用广泛。在沙土层中,水泥土防渗墙渗透系数可达10⁻⁷-10⁻⁸cm/s,有效阻断地下水渗透。在淤泥层中,通过增加水泥掺入比,提高水泥土强度与抗渗性。在砂砾层中,需配合泥浆护壁,防止钻进过程中孔壁坍塌。多头深层搅拌水泥土工艺的质量控制要点包括:水泥浆配比需根据地层特性调整,确保强度与抗渗性;搅拌均匀性需保证,钻头转速与钻进速度需匹配,实现水泥浆与土体充分混合;墙体连续性需控制,相邻桩体搭接宽度 ≥ 20 cm,避免渗漏通道。

2.5 其他技术

2.5.1 高压喷射灌浆法

高压喷射灌浆法是一种利用高压喷射装置将水泥浆液注入土体,通过喷射切割作用形成固结体防渗墙的技术。该方法适用于软土地基加固,喷射压力通常控制在20-40MPa之间,孔距为0.8-1.2米,形成的固结体渗透系数可低至10⁻⁶cm/s。施工时,需根据地层特性调整喷射参数,如喷射角度、提升速度等,以确保固结体的强度与抗渗性。高压喷射灌浆法具有施工效率高、固结体质量稳定等优点,广泛应用于地基处理、防渗加固等领域。

2.5.2 劈裂灌浆法

劈裂灌浆法通过水压力劈裂土体,形成裂隙后注入水泥浆液,从而形成防渗帷幕。该技术适用于渗透系数较大的地层,灌浆压力一般控制在0.5-2.0MPa之间,形成的帷幕厚度为0.5-1.0米。施工时,需精确控制灌浆压力与浆液扩散范围,确保帷幕的连续性与完整性^[2]。劈裂灌浆法具有施工工艺简单、成本较低等优点,适用于多种地质条件下的防渗处理。

3 防渗墙施工质量控制要点

3.1 泥浆固壁技术

泥浆固壁是防渗墙施工中的关键环节,其作用在于防止槽壁坍塌,保障槽孔稳定。泥浆性能直接影响固壁效果,需从以下方面进行质量控制:(1)泥浆材料选择。泥浆通常由膨润土、水及外加剂配制而成。膨润土应选用优质钠基膨润土,其造浆率高、失水量小。外加剂包括分散剂、增粘剂等,需根据地层特性调整掺量。在砂砾石地层中,应适当增加增粘剂用量,提高泥浆粘度,增强护壁能力。(2)泥浆性能指标控制。泥浆比重、粘度、失水量等参数需满足地层稳定性要求。一般要求比重为1.05-1.20g/cm³,粘度为20-30s,失水量 ≤ 20 ml/30min。施工过程中需实时监测泥浆性能,及时调整配比。(3)泥浆循环与净化。泥浆循环系统应配备振动筛、旋流器等净化设备,及时清除钻渣和杂质,保持泥浆清洁。循环过程中需控制泥浆流速,避免冲刷槽壁。

3.2 清孔换浆质量控制

清孔换浆其目的是清除槽底沉渣,置换槽内泥浆,为混凝土浇筑创造良好条件。质量控制要点如下:(1)清孔方法选择。根据槽孔深度和地层特性选择合适的清孔方法。常用方法包括抓斗清孔、反循环钻机清孔等。在砾土层中,可采用抓斗直接抓取沉渣;在粘土层中,需结合反循环钻机循环泥浆,将沉渣带出槽孔。(2)清孔深度与时间控制。清孔深度应满足设计要求,一般要求清至新鲜基岩面或槽底以下0.5-1.0米。清孔时间需根据槽孔体积和清孔设备效率确定,确保沉渣厚度 ≤ 100 mm。在深度为30米的槽孔中,采用反循环钻机清孔时,清孔时间应不少于4小时。(3)换浆质量检测。换浆后需检测槽内泥浆性能,确保比重、粘度等指标符合要求。采集槽底泥浆样本,检测含砂率,含砂率应 $\leq 5\%$ 。若含砂率过高,需继续清孔或补充优质泥浆。

3.3 混凝土浇筑质量控制

混凝土浇筑其质量直接影响防渗墙的强度和抗渗性。质量控制要点如下:(1)混凝土配合比设计。混凝土配合比要根据地层特性、施工条件等因素确定。一般要求坍落度为18-22cm,初凝时间 ≥ 6 小时,终凝时间

≤ 24小时。(2) 导管法浇筑工艺。采用导管法浇筑时,导管理深应控制在2-6米,确保混凝土连续、均匀填充。导管提升速度应与混凝土浇筑速度匹配,避免拔空或埋管过深。(3) 浇筑过程监控。浇筑过程中需实时监测混凝土面高程、导管理深等参数,并记录浇筑量。若发现混凝土面上升速度异常或导管堵塞,需及时处理。(4) 混凝土质量检测。浇筑完成后,需对混凝土进行质量检测,包括抗压强度、抗渗等级等指标。检测频率应满足规范要求,一般每50m³混凝土取样一组。若检测结果不满足设计要求,需采取补强措施。

3.4 接头处理与防渗效果

防渗墙接头处理质量直接影响整体防渗效果。质量控制要点如下:(1) 接头形式选择。根据防渗墙结构形式和施工工艺选择合适的接头形式。常用接头形式包括接头管法、接头箱法等。(2) 接头处理工艺。接头处理需确保接头部位混凝土密实、无夹泥。在接头管法施工中,需在混凝土初凝前拔出接头管,形成光滑的接头面;在接头箱法施工中,需在混凝土终凝后拆除接头箱,并对接头部位进行二次振捣。(3) 防渗效果检测。防渗墙施工完成后,需进行防渗效果检测,包括注水试验、电法勘探等方法。检测结果应满足设计要求,渗透系数应 ≤ 1 × 10⁻⁷cm/s。若检测结果不满足要求,需采取补强措施,如高压灌浆等。

3.5 异常情况处理

防渗墙施工过程中可能遇到槽壁坍塌、导管堵塞等异常情况,需及时处理,确保施工安全和质量。具体如下:(1) 槽壁坍塌处理。槽壁坍塌时,要立即停止施工,分析坍塌原因。若因泥浆性能不佳导致坍塌,需补充优质泥浆;若因槽孔超挖导致坍塌,需回填粘土并重新造孔。坍塌处理完成后,需重新检测泥浆性能和槽壁稳定性,确保满足施工要求。(2) 导管堵塞处理。导管堵塞时,及时采取措施疏通导管^[1]。可采用上下抖动导管、高压水冲刷等方法。若疏通无效,需拔出导管,清理堵塞部位后重新下管。导管堵塞处理过程中,需防止混凝土离析或夹泥。

4 构建防渗墙施工质量控制体系

构建防渗墙施工质量控制体系需以目标为导向、原则为准则、组织架构为支撑,贯穿施工全周期。质量控制目标聚焦于确保防渗墙的力学性能及抗渗性能符合设计标准,保障工程安全运行;原则遵循“预防优先、动态管控”,强化事前风险预判、事中实时纠偏与事后闭环管理。组织架构上,需组建以项目经理为责任主体的质量管理团队,整合技术部、工程部、质检部等资源,形成职责清晰、协同联动的管控网络。施工过程监控需紧扣关键工序,如泥浆固壁环节需动态监测比重、粘度、失水量等指标,混凝土浇筑时需精准控制导管理深、浇筑速度等参数,通过旁站监督、试验检测等手段保障工序质量。质量验收以设计图纸、技术规范及验收规程为基准,执行“班组自检—项目部复检—监理单位终检”三级验收程序,确保数据真实可靠^[4]。针对质量问题,需采用“五步法”整改:溯源分析问题根源、制定纠正措施、落实整改责任、验证整改效果、固化经验教训,推动质量管理体系持续改进,实现防渗墙工程品质升级。

结束语

防渗墙施工技术在水利工程中占据核心地位,其科学应用与严格质量控制是保障工程安全、耐久与效益的关键。本文通过系统分析防渗墙施工技术的定义、作用及主流方法,揭示了不同技术在地层适应性、施工效率与质量控制上的差异。构建的防渗墙施工质量控制体系,以目标为导向、原则为准则、组织架构为支撑,通过全周期动态管控与持续改进策略,为工程实践提供了可操作的质量管理框架。

参考文献

- [1]李光耀,李佳纯. 水利工程防渗墙施工技术及其质量控制措施分析[J]. 工程施工新技术,2024,3(13):11-12.
- [2]温海军. 水利工程中防渗墙施工技术与其质量控制策略研究[J]. 现代装饰,2024(27):183-185.
- [3]许克庆. 水利工程防渗墙施工技术及其质量控制措施分析[J]. 建筑工程技术与设计,2019(10):27-28.
- [4]王蓓. 浅析水利工程防渗墙施工技术与其质量控制管理[J]. 建筑与装饰,2020(31):172-173.