

水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术

庄乐乐¹ 封帆²

1. 邳州市水利建筑安装工程有限公司 江苏 邳州 221300

2. 徐州市正泰水利建筑工程检测有限公司 江苏 邳州 221300

摘要：随着水利工程向深基坑、高水头领域拓展，混凝土防渗墙作为控制地下水渗透、保障坝体与地基稳定的核心屏障，其施工质量直接关系到工程的防渗效能与结构安全。本文围绕水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术展开研究，首先概述了该技术的原理、特点及分类，明确其在水利工程防渗中的核心作用；接着详细阐述施工技术要点，涵盖造孔施工的槽段划分、孔位孔深控制等，泥浆制备使用的材料选择、性能指标控制等，以及混凝土浇筑的配合比设计、过程控制等关键环节；最后分析了该技术在材料创新、工艺智能化等方面的发展趋势，为水利工程混凝土防渗墙施工提供参考。

关键词：水利工程施工；混凝土防渗墙；施工技术

引言：在水利工程建设中，防渗是保障工程安全稳定运行的关键环节，混凝土防渗墙因具有防渗效果好、适应能力强等优势，被广泛应用于堤坝加固、水库防渗等工程中。随着水利工程建设规模的扩大和技术要求的提高，传统混凝土防渗墙施工技术面临着效率提升、质量保障等新挑战。深入研究混凝土防渗墙施工技术，明确其技术原理、掌握关键施工要点，并把握未来发展趋势，对于提高水利工程防渗效果、推动行业技术进步具有重要的现实意义。本文就此展开详细探讨。

1 水利工程施工中的混凝土防渗墙技术概述

1.1 技术原理

混凝土防渗墙技术的核心原理是通过在地基或坝体中建造连续的混凝土墙体，阻断地下水或渗流的渗透路径，从而达到防渗目的。施工时，先通过专用设备在指定位置造孔形成槽段，采用泥浆护壁防止孔壁坍塌，随后向槽内浇筑具有抗渗性能的混凝土，待混凝土凝固后，各槽段连接形成整体防渗结构。该技术利用混凝土材料的低渗透性和墙体的连续性，将渗流控制在允许范围内，同时可增强地基稳定性，适用于各类土层、岩层及复杂地质条件下的防渗工程。

1.2 技术特点

混凝土防渗墙技术具有多方面显著特点：一是防渗效果显著，墙体渗透系数低，能有效阻断深层或高水头渗流；二是适应性强，可在软土、砂土、岩石等多种地质条件下施工，且墙体深度和厚度可灵活调整；三是结构整体性好，通过槽段连接形成连续墙体，兼具防渗与结构加固功能；四是施工过程可控性高，可通过泥浆护壁、混凝土配合比优化等手段保障施工质量；五是对原

有工程扰动小，尤其适用于既有堤坝的防渗加固工程，能减少对工程正常运行的影响。

1.3 技术分类

根据施工工艺和墙体材料特性，混凝土防渗墙可分为多种类型：按成槽方式可分为钻挖式防渗墙、冲击式防渗墙和抓斗式防渗墙，分别适用于不同地质条件（如岩层、砂土、软土）；按混凝土材料可分为普通混凝土防渗墙、塑性混凝土防渗墙（柔性好，适应地基变形）、钢筋混凝土防渗墙（适用于需承担较大荷载的场景）；按墙体结构形式可分为薄壁防渗墙（厚度小于30cm，适用于轻型防渗）和厚壁防渗墙（厚度大于30cm，适用于高水头工程）^[1]。

2 水利工程施工中混凝土防渗墙施工技术要点

2.1 造孔施工

2.1.1 槽段划分

槽段划分是造孔施工的基础环节，需综合考虑地质条件、施工设备性能及工程设计要求。对于地质均匀的软土地层，可采用较长槽段（6-8米）以提高施工效率；而在岩层或含孤石的复杂地层中，应缩短槽段至3-5米，避免因岩性突变导致孔壁失稳或设备损耗。同时，槽段长度需与所用造孔设备的工作参数匹配，例如抓斗式设备的单次抓取宽度通常为2-4米，槽段划分需以此为基础进行组合。

2.1.2 孔位与孔深控制

孔位控制需严格依据设计轴线，采用全站仪或GPS定位，误差不得超过5厘米。施工前需在地面标记孔位，并设置控制桩进行复核，确保槽段中心线与设计轴线一致。孔深控制则需结合防渗墙设计深度及地质勘察资

料,通过测绳、测锤或孔深检测仪实时监测,确保孔底深度达到设计要求的不透水层或相对不透水层以下0.5-1.0米。对于存在倾斜岩层的地层,需增加孔斜测量频率,采用测斜仪每钻进5米检测一次,孔斜率控制在0.3%以内,避免因孔位偏移或孔深不足导致防渗墙底部出现渗漏通道。

2.1.3 造孔工艺选择

造孔工艺的选择需根据地层特性针对性确定。在软土、砂土等松散地层中,优先选用液压抓斗造孔工艺,其通过闭合抓斗抓取土体,效率高且对周边扰动小;对于砂卵石地层,宜采用冲击钻与抓斗组合工艺,冲击钻破碎大块卵石后,抓斗清除渣土,确保成槽顺畅;在岩层或坚硬地层中,需采用液压钻机配牙轮钻头进行钻进,通过高压水冷却钻头并排出岩屑,必要时辅以爆破预处理,降低钻进难度。

2.1.4 孔壁保护

孔壁保护是防止塌孔、保障造孔质量的关键,核心措施是泥浆护壁与槽段稳定控制。泥浆需根据地层特性配置,对于松散砂土,采用高黏度膨润土泥浆(黏度30-50s),形成致密泥皮阻止渗水;对于黏性土层,可适当降低黏度(20-30s),减少泥浆对土体的扰动。泥浆液面需始终保持在地下水位以上0.5-1.0米,且不低于槽顶以下0.3米,通过液压力平衡孔壁土压力。施工中需实时监测泥浆比重($1.1-1.3\text{g}/\text{cm}^3$)、含砂量($\leq 5\%$)等指标,超标时及时补充新浆或采用振动筛、离心机净化。

2.2 泥浆制备与使用

2.2.1 泥浆材料选择

泥浆材料的选择需结合地层特性与施工需求,以确保护壁效果和施工顺畅。膨润土是常用的基础材料,具有良好的胶体性能和造浆能力,能在孔壁形成稳定泥皮,适用于多数土层。对于渗透性较强的砂层或砾石层,可掺入纯碱调节泥浆的pH值,增强黏土颗粒的分散性,提升泥浆的护壁能力。在黏土层中施工时,可适当添加CMC(羧甲基纤维素),利用其增稠性改善泥浆的悬浮性能,防止钻渣沉淀。若遇易塌孔的松散地层,可加入少量聚丙烯酰胺等高分子材料,通过提高泥浆的黏度和凝聚力,强化孔壁的稳定性的。

2.2.2 泥浆性能指标控制

泥浆性能指标的控制是保障造孔质量的核心,需重点关注其黏度、比重、含砂量及胶体率等特性。黏度需根据地层松紧程度调整,松散地层需较高黏度以形成厚实泥皮,致密地层可适当降低黏度以减少阻力。比重过大易增加钻进负荷,过小则难以平衡孔壁压力,需通过

材料配比调节至适宜范围。含砂量过高会磨损钻具并降低泥皮质量,需通过净化处理控制其含量。胶体率反映泥浆中固体颗粒的悬浮稳定性,胶体率低易导致钻渣沉淀,影响孔底清洁度,需通过添加稳定剂维持其稳定性。

2.2.3 泥浆循环与净化

泥浆循环与净化系统是维持泥浆性能的关键环节,其作用是将孔内携带钻渣的泥浆回收处理后重复利用。循环过程中,泥浆通过泵体从孔底抽出,经管道输送至净化设备,去除其中的砂粒、岩屑等杂质后,再由送浆管回灌至孔内,形成闭环循环。净化设备的选择需根据钻渣粒径确定,对于粗颗粒钻渣,可采用振动筛进行初步分离;细颗粒杂质则需通过旋流器或离心机进一步处理。循环过程中需确保泥浆流速均匀,避免因局部流速过快冲刷孔壁或过慢导致钻渣沉积。

2.3 混凝土浇筑

2.3.1 混凝土配合比设计

混凝土配合比设计需兼顾防渗性能与施工适应性,以满足墙体结构的长期稳定性要求。首先需根据工程的防渗等级确定胶凝材料用量,确保混凝土具有足够的密实度,减少孔隙率。水泥品种的选择需结合环境条件,在有侵蚀性地下水的场景中,优先选用抗硫酸盐水泥;普通工况下可采用普通硅酸盐水泥,以保证强度发展速度。骨料级配需连续均匀,减少颗粒间隙,细骨料宜选用中砂,粗骨料粒径不宜过大,避免影响混凝土的流动性。

2.3.2 浇筑前准备

浇筑前的准备工作直接影响施工质量,需全面细致地开展。首先要对槽段进行清理,通过导管通入压缩空气或清水,将孔底的沉渣和杂物清除干净,确保孔底清洁,避免影响混凝土与地基的结合。其次要检查导管的密封性和垂直度,导管连接部位需严密,防止浇筑过程中出现漏浆;导管底部距离孔底的距离需适中,既要保证混凝土能顺利流出,又要避免导管被沉渣堵塞。同时,需准备足够数量的混凝土,确保浇筑过程连续不间断,避免因混凝土供应不足导致浇筑中断。

2.3.3 浇筑过程控制

浇筑过程需严格控制各项参数,确保混凝土质量均匀稳定。混凝土浇筑采用导管法,通过导管将混凝土送入槽段底部,利用混凝土的自重推动泥浆上升并排出槽外。浇筑过程中,需保持导管埋入混凝土中的深度适宜,过浅易导致泥浆混入混凝土,过深则会影响混凝土的流动和密实。要连续不断地浇筑混凝土,避免中途停顿,若因特殊情况必须停顿,停顿时间需严格控制,且停顿后需采取措施确保混凝土结合紧密。同时,要实时

监测混凝土的上升速度,保证各部位混凝土上升均匀,防止因局部上升过快或过慢导致墙体出现蜂窝、麻面等缺陷。

2.3.4 特殊情况处理

浇筑过程中可能遇到各种特殊情况,需采取有效的应对措施。若出现导管堵塞,应先尝试通过上下抖动导管疏通,若无法疏通,需及时拔出导管,清除堵塞物后重新安装导管,并确保导管底部埋入已浇筑混凝土中的深度符合要求后再继续浇筑。当发生漏浆现象时,需立即检查导管的连接部位,对漏浆处进行密封处理,同时补充混凝土,弥补漏浆造成的损失,防止泥浆进入混凝土影响其质量。若遇到混凝土供应中断,且中断时间较长,需在已浇筑的混凝土初凝前,采取措施对混凝土面进行处理,如清除表层浮浆、凿毛处理等,待恢复供应后,先浇筑一层与原混凝土成分相同的水泥砂浆,再继续浇筑混凝土,确保新老混凝土结合牢固^[2]。

3 水利工程施工中混凝土防渗墙施工技术的发展趋势

3.1 材料创新与高性能化

材料创新是推动防渗墙技术升级的核心动力,未来将聚焦于高性能、多功能材料的研发与应用。一方面,通过改良混凝土组分,如掺入纳米材料提升抗渗性,或加入纤维增强材料提高抗裂性能,使墙体在极端环境下仍能保持稳定。另一方面,环保型材料将成为重点,例如研发可降解的泥浆添加剂,减少施工对周边水体的污染;推广工业废渣再生骨料的应用,实现资源循环利用。同时,功能性材料如自修复混凝土的探索,有望解决墙体后期渗漏问题,通过材料自身反应修复微裂缝,延长工程使用寿命。

3.2 施工工艺智能化与自动化

智能化与自动化技术将大幅提升施工效率和精度。在造孔环节,无人操控的智能铣槽设备可通过传感器实时感知地层变化,自动调整钻进参数,减少人为操作误差;成槽质量的在线监测系统能同步分析槽段垂直度、孔壁稳定性,及时预警风险。混凝土浇筑过程中,自动化布料机器人可精准控制浇筑速度和导管埋深,结合BIM技术实现施工全过程的数字化模拟与管控。

3.3 与其他技术融合发展

混凝土防渗墙技术将与更多新兴技术交叉融合,形成协同效应。例如,与高压喷射注浆技术结合,在复杂地层中先通过喷射注浆加固周边土体,再进行防渗墙施工,提升整体防渗效果;与地质雷达探测技术融合,施工前精准定位地下隐患,优化槽段划分方案。同时,防渗墙与生态修复技术的结合成为新趋势,通过在墙体设计中预留生态通道,或采用透水性可调的材料,兼顾防渗功能与水体生态循环,满足水利工程的生态化建设需求。

3.4 质量检测技术精准化与多元化

质量检测技术将向更精准、更多元的方向发展。传统的抽样检测将逐步被无损检测替代,如采用超声波断层扫描技术,可全方位扫描墙体内部结构,精准识别空洞、裂缝等缺陷;分布式光纤传感技术的应用,能实时监测墙体受力变形和渗漏情况,实现长期动态监测。此外,检测数据的智能化分析成为关键,通过大数据算法对检测结果进行深度挖掘,预测墙体劣化趋势,为工程维护提供科学依据。多元化的检测手段结合,将构建从施工到运营的全生命周期质量管控体系^[3]。

结束语

混凝土防渗墙施工技术作为水利工程防渗体系的核心支撑,其技术成熟度直接关系到工程的安全与效能。从基础的造孔、泥浆护壁到混凝土浇筑,每一环的精准把控都是保障墙体质量的关键。随着材料创新、智能施工与多元检测技术的融合发展,该技术正朝着更高效、更环保、更可靠的方向迈进。未来,需持续推动技术研发与工程实践的结合,在复杂地质条件应对、生态友好型施工等领域突破创新,让混凝土防渗墙在水利工程可持续发展中发挥更大作用,为水资源安全与工程长效运营筑牢防线。

参考文献

- [1]陈国栋.分析水利水电工程技术建筑中混凝土防渗墙施工技术[J].四川水泥,2021(04):34-35.
- [2]马建国.水利工程堤防防渗施工技术分析[J].科技经济导刊,2020,28(26):65+64.
- [3]龚林.分析水利水电工程技术建筑中混凝土防渗墙施工技术[J].砖瓦,2020(09):186-187.