

水利水电工程中混凝土防渗墙施工技术应用分析

邝旺旺

中国水利水电第十一工程局有限公司，河南 郑州 450000

[摘要]混凝土防渗墙具有施工工艺便捷、墙体防渗性能较高的优势，推动其在水利水电工程中的全方位应用，对于提升工程质量、防渗性能有着突出优势。明确水利水电工程的技术特点，持续优化混凝土防渗墙施工技术组成，推动技术的深入应用，强化工程抗渗性能。文章以某大型综合性水利工程为例，结合工程特点和混凝土防渗墙施工技术种类，明确了水利水电工程中混凝土防渗墙施工技术的具体应用，旨在为水利水电工程的高质量发展提供参考。

[关键词]水利水电工程；混凝土；防渗墙；技术应用

DOI: 10.33142/ect.v3i12.18617 中图分类号: TV543 文献标识码: A

Application Analysis of Concrete Anti-seepage Wall Construction Technology in Water Conservancy and Hydropower Engineering

KUANG Wangwang

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: Concrete anti-seepage walls have the advantages of convenient construction technology and high anti-seepage performance, which promotes their all-round application in water conservancy and hydropower projects and has outstanding advantages in improving engineering quality and anti-seepage performance. Clarify the technical characteristics of water conservancy and hydropower engineering, continuously optimize the construction technology composition of concrete anti-seepage walls, promote the in-depth application of technology, and strengthen the anti-seepage performance of the project. The article takes a large-scale comprehensive water conservancy project as an example, combines the characteristics of the project and the types of concrete anti-seepage wall construction technology, and clarifies the specific application of concrete anti-seepage wall construction technology in water conservancy and hydropower engineering, aiming to provide reference for the high-quality development of water conservancy and hydropower engineering.

Keywords: water conservancy and hydropower engineering; concrete; anti-seepage wall; technology application

引言

水利水电工程需要在有水环境下运行，对工程整体的防渗性能要求较高，如果发生渗漏问题不仅会降低工程质量，也会破坏工程结构的稳定性，存在质量隐患。混凝土防渗墙施工技术通过在松散透水性地基中连续钻孔形成槽道，在槽道内灌注混凝土形成连续的防渗墙，有效增强工程的防渗能力和结构稳定性。加强混凝土防渗墙施工技术在水利水电工程中的应用，构建出连续的防渗屏障，解决渗漏问题增强地基稳定性，对于保障工程结构安全稳定，强化工程整体防渗性能有着重要作用。

1 工程概况

某大型综合性水利工程位于长江中下游位置，兼具防水、灌溉、防洪、供电等多重作用，工程坝体最高位 120m、总库容为 10 亿 m³，坝顶长度约为 1.35km。工程所处地区地形环境相对复杂、地质条件水文条件变化多样，对工程防渗能力要求较高。地质勘察发现，30m 层厚土层以中砂、细砂、卵石为主，透水性强，结构松散，地下岩层虽具备一定厚度，但局部岩层碎裂效果相对明显，透水性较

差，存在多条断裂、褶曲，这对工程的运行安全产生了一定威胁，工程地基土情况见表 1。现场钻探定位了岩石裂隙发育情况和地下水位变化情况，传统防水措施难以满足工程防渗需求，采用混凝土防渗墙的方式用于抵抗渗漏，确保工程安全建设、稳定运行。

表 1 基土各层物理力学指标

土层	沙壤土	粉砂	壤土
含水量	27.4%	17.5%	26.7%
比重	2.70%	2.69%	2.72%
干密度	1.52%	1.65%	2.72%

2 混凝土防渗墙施工技术种类

2.1 板桩灌注墙

板桩灌注墙以钢板桩为主要固定材料，通过击打固定的方式将钢板与地基部分紧密结合，然后浇筑混凝土形成防渗墙，能显著增强基础部分的防渗效果。与其他类型的混凝土防渗墙施工技术相比，板桩灌注墙的施工重点在于连续建设，为满足连续建设实际需求，就需要加大材料质量管理力度，采用多种填塞方式加强混凝土材料处理效果，

在施工前使用液压设备重新拔除钢板柱，优化板桩灌注墙的力学性能。板桩灌注墙施工工艺组成相对完善，根据灌注墙灵活性特点，结合不同施工要求灵活调整活门组成部分，稳定提升工程施工质量。

2.2 桩柱式防渗墙

桩柱式防渗墙除了需要混凝土材料外，也需要搭配使用冲击钻的方式进行钻孔作业，这种类型的防渗墙具有抗冲击效果稳定、使用寿命长等优势。泥浆护壁施工工艺以桩孔为载体，利用套管的方式进行混凝土回填，要求采用多元化施工措施完成防渗墙布置，尤其是桩柱质量和施工工艺必须满足预期防渗要求，提升整体施工质量。板桩灌注墙防渗施工灵活性强，能按照局部水文地质情况调整施工工艺，结合现场实际施工情况或技术变更优化连锁模式。

2.3 槽板式防渗墙

槽板式防渗墙同样需要搭配使用冲击钻工艺，实现对槽孔的深度开挖，定位槽孔位置制定开挖方案。施工人员应根据现场实际环境持续优化施工策略，完善施工方案做好泥浆调配，避免出现材料质量问题。在没有特殊施工要求时，施工人员应确保槽孔长度保持在 5m~9m 区间，部分地质条件特殊的区段可适当增加长度，避免墙体结构失衡影响整体施工质量^[1]。槽板式防渗墙在工程中的应用局部变化较为明显，强化单元槽连接之间的个体差异，重点考虑单元槽形式，结合实际情况落实搭建模式，为后续施工开展提供充分条件。

3 混凝土防渗墙施工技术应用

3.1 施工准备

(1) 场地布置与地基处理。混凝土防渗墙施工前需要明确区域实际的地质水文条件，做好细致的地质补充勘察，施工团队通过钻探取样的方式明确断层破碎带分布范围，定位岩性特征，为后续的施工方案制定提供参考。工程区域内破碎带主要分布于坝基中部和两岸，经过测试后定位破碎带宽度，明确破碎带岩体主要组成。经由地质勘探可以明确岩体主要类型为强风化黄岗岩，破碎带岩石呈碎块化状态，局部区域蕴含石英脉碎块。经过综合勘查可以明确本工程地质条件，选用混凝土防渗墙施工技术满足工程防渗要求。确定施工方案后，施工团队精准定位防渗墙轴线并完成测量放样，按照施工标准做好场地清理，要求施工现场无明显杂物、垃圾，场地平整度保持在 95% 以上。本工程涉及范围较广，因此将混凝土防渗墙施工划分为上游区、下游区两大作业区域，确保施工机械运行半径可以在不同区域内灵活调整。上游区是混凝土防渗墙施工的供给区，主要用于存放设备和施工材料；下游区是施工区，主要用于泥浆制备和混凝土成品运输。

(2) 施工配套设施建设。工程位于长江中下游位置，该区域的地下水位变化明显，年均降水量大，对混凝土防渗墙施工质量要求较高。施工前重点关注可能存在的雨水

浸泡软化问题和泥浆外溢情况，提高地基巩固处理效果，强化防渗性能^[2]。防渗墙轴线两侧预留一定面积的施工作业面，为了方便工程排水、设备运行，使用混凝土材料设置排水坡度，沿场地周边开挖混凝土截水沟，收集场地内的多余积水杂物，使用排水管网连接的方式优化排水布局，营造良好的场地环境。

3.2 导墙施工

(1) 导墙结构设计与基础施工。混凝土防渗墙施工技术需要根据工程区域内地质条件灵活设计，按照破碎带的分布情况、地下水位标高变化以及区域内的水文地质情况确定导墙施工工艺，优化方案组成。根据施工要求，采用双排导墙结构作为施工的主要形式，导墙深度控制在 3m 左右，使用水平仪定位跟踪检测导墙施工的水平位置偏差，避免出现施工错误。正式施工期进行基坑开挖，采用高强度混凝土加固的方式对基坑进行放坡，严格控制放坡厚度和坡度变化，厚度应与施工方案保持一致。基坑开挖前明确混凝土垫层的平整度，进行多次找平工作，避免出现力度分布不均等情况，保障导墙基础垫层质量稳定。为提升混凝土防渗墙施工技术的防渗性能，工程选用高强防渗混凝土用于浇筑材料，内侧设置钢筋网片，主筋和分布筋强度满足混凝土施工要求，充分考虑施工过程中泥浆护壁和地下水位的变化情况，避免导墙施工出现质量问题。

(2) 单元槽段划分与施工。依据混凝土防渗墙施工的方案设计，依据项目标准刚度要求和防渗止水标准，按照局部单元槽段划分标准组织施工，工程单元槽段长度计算见下式：

$$L = nL_{max} - L_c - M \quad (1)$$

式中：L 表示为单元槽段长度；n 表示为抓斗最大抓取长度；L_{max} 表示为槽段实际抓取长度；L_c 表示为重复挖掘长度；M 表示为超挖槽段长度。

经计算后工程确定区域内槽段长度为 6m，防渗墙单体长度确定为 133m，单个防渗墙可布置 22 个槽段和 21 个接头。

(3) 混凝土浇筑与质量控制。明确单元槽段长度后组织分段混凝土施工作业，每个槽段长度要求以 6m 作为标准长度，每个槽段间布设接头和施工缝，要求施工缝垂直于导墙轴线，避免出现浇筑偏差。针对施工区降水变化和水位变化，使用振动振捣的方式控制槽段间距，强化混凝土密实度。工程施工区地下水位变化幅度较为明显，根据导墙四周的变化情况设置多道止水钢板，按照施工缝布置情况预埋遇水膨胀的止水条，避免出现地下水渗漏问题。明确导墙混凝土设计强度后，对导墙轴线重复测量，控制混凝土浇筑偏差，将其保持在 20mm 以内^[3]。此过程严格执行控制导墙施工质量避免影响防渗墙成槽垂直度和后续施工安全，严格控制导墙混凝土强度，优化断面尺寸定位轴线偏差，精准关键指标，具体见表 2。

表 2 成槽工艺指标

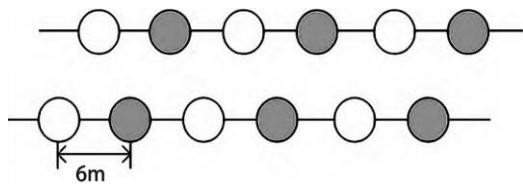
项目	参数标准
导墙顶面高程	±5mm
钻孔的尺寸误差	±3cm
导墙轴线允许偏差	±5mm
孔深允许偏差	±5cm
钻孔倾斜度的容许误差	±0.4%
导墙内墙垂直度允许误差	±10mm

3.3 槽段开挖

(1) 钻孔成槽。采用液压抓斗机作为成槽主要设备,根据槽孔宽度确定抓斗设备的展开幅度,槽段抓取时应按照先抓取两侧、后深挖中间的顺序组织开展。墙体连接采用接头管法和平切法的方式依次固定,要求槽段开挖的过程中能按照施工标准连续作业,满足施工标准要求。施工前应对基岩表面实际情况组织验收工作,抓斗机与土层表面产生直接接触后的土层渗透情况作为后续施工方案的优化参数,记录每次土层抓取的现场情况,实时检测孔底高程避免出现钻孔渗漏问题。成槽施工阶段搭配使用冲击钻配合钻孔,要求严格控制钻孔的偏斜度和稳定性,孔道偏斜度应满足施工方案的标准要求,通过测量不同深度的钻孔成槽深度变化,定位钻头钢丝绳的中心线位置,计算孔斜率,将其作为成槽作业的基础数据:

$$k = \frac{h+q}{hq} \eta \times 100\% \quad (2)$$

式中: k 表示为实际施工槽段长度; h 表示为槽孔深度; q 表示为桅杆高度; η 表示为具体的偏移量。施工期间要求槽段钻孔偏移量控制在 3cm 以内,特殊地质条件下钻孔偏移量控制可适当放宽,但也不宜超出 5cm 以上。槽孔连接部分的中心位置作为偏差控制的重点位置,位置偏差不得超出墙体厚度的 1/3,灌浆孔布设情况见图 1。


图 1 工程成槽灌浆孔布设 (白色为主孔, 灰色为副孔)

在浆液换置之前,需要做好接头刷壁工作,使用专用钢丝刷紧贴接头面反复摩擦移动,确保接头部分表面的清洁度与完整性,直至表面不再出现泥屑时可前往下一道工序。

(2) 成槽。为了最大限度保障成槽施工质量,加强成槽时的稳定性,工程使用快速加浆的策略。在槽体开挖前,施工人员向槽沟内部快速注浆,保持槽沟内部浆液面始终位于地面以下 0.5m 左右。此过程中需要注重成槽机的使用和水平位置,关注成槽机的参数设计,确保成槽机能够有三名以上的专业施工人员操作^[4]。成槽机挖斗垂直

度在 1/300 以下,严格控制抓斗下槽的稳定性和精准性。施工人员在结合不同土层的实际情况的基础上采取了不同的施工工序和开挖措施,通过注浆管向孔底注入泥浆,将杂物和渣土冲出孔外,如果施工现场地下土层含砂率较大,则可以尝试使用空气吸泥法做好清底作业。槽段开挖完成后采用无损检测方式明确槽壁的垂直度、稳定性等具体情况,强化泥浆护壁效果。

3.4 混凝土浇筑控制

(1) 混凝土配合比确定。严格按照施工要求确定混凝土配合比,加强各类材料的配比工作,要求混凝土配合比性能满足施工标准。配比和检测严格依照工程标准需求严格控制,制备阶段采用膨润土及纯碱配置,具体配合比见表 3。工程选择的混凝土初凝时间控制在 6h 左右,终凝时间控制在 24h 左右。

表 3 混凝土配合比 (单位: kg/m³)

参数	数值
细骨料	893
水泥	189
高效减水剂	5.012
粗骨料	827
膨润土	103
水	271

(2) 混凝土拌制与浇筑工艺。本项目地下岩体渗透性较强,合理调整混凝土配合比保障混凝土凝固后的抗压强度、抗渗性能以及弹性模量。本工程施工面积大、施工周期长,具有大规模防渗的需求,考虑工期和质量控制方面的要求,选择大型强制搅拌机进行混凝土拌制作业,混凝土拌制速率控制在 200m³/h 左右。为了避免出现混凝土水化热衍生的混凝土病害问题,严格控制混凝土的初凝时间和泌水率,如果未达到设计标准则需要重新优化控制。出于大规模浇筑需求,项目采用导管法作为浇筑方法,严格控制导管在混凝土内的埋深,避免出现浇筑死角、浇筑缺口等问题。使用膨润土浆液作为初次浇筑材料,浇筑量与导管容积成正比,避免材料浇筑溢出。混凝土浇筑速度控制在 50m³/h 左右,避免出现浇筑中断问题,确保混凝土浇筑的均匀性和持续性^[5]。搭配使用超声波检测仪实时监测防渗墙高程变化,浇筑面倾斜度控制在 5° 以内。当混凝土浇筑面距槽顶 2m 左右时应降低浇筑速度,避免出现浇筑速度过快混凝土盖过顶面高程的情况。

4 结束语

综上所述,水利水电工程靠近水源,施工环境对工程防渗性能提出了更高要求,混凝土防渗墙的工艺便捷、防渗性能较强,可有效提高水利水电工程的稳定性和抗渗性能。技术应用的过程中应全面掌握区域内的水文地质情况,

在固有施工技术体系基础上做好技术的优化创新，调整施工细节做好质量控制，打造出精益化的施工模式。按照施工准备、导墙施工、槽段开挖、混凝土浇筑控制几个重要节点控制施工效果，确保防渗墙施工质量和施工效率。做好施工的动态跟踪和过程优化，紧密贴合工程实际情况优化技术处理，为水利水电工程的高质量可持续发展提供充分条件。

[参考文献]

[1]胡书森.混凝土防渗墙在堤防加固工程中的施工工艺优化与质量控制[J].建筑工人,2025,46(12):41-43.

- [2]潘凤珍.单薄分水岭和堆渣副坝地基塑性混凝土防渗墙施工技术[J].水泥,2025(12):95-97.
 - [3]王鑫颖,范震.基于混凝土防渗填筑技术的水利大坝工程施工设计研究[J].科技与创新,2025(14):95-97.
 - [4]王涛,尹永峰,左志鹏,等.坝基河谷形状对混凝土防渗墙力学性状影响量化研究[J].水力发电,2025,51(9):29-39.
 - [5]李晶,庞永波.澄城县长宁河水库工程中塑性混凝土防渗墙施工技术的应用[J].地下水,2024,46(5):296-298.
- 作者简介：邝旺旺（1998.4—），男，郑州科技学院，工程造价，中国水利水电第十一工程局有限公司。