

水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术

李 冰 李 芮

山东中鲁技术服务集团有限公司 山东 菏泽 274000

摘 要：混凝土防渗墙是堤坝、闸基水利工程核心防渗构筑物，依托地下成槽、水下浇筑成型，阻断地下水渗流通道，保障水工构筑物结构稳定。本文结合现场水利施工实操，从施工前期筹备、标准化工艺流程、四类专项施工技术入手，梳理深基岩层、流沙软土、槽段接缝等特殊工况施工要点，归纳槽孔变形、墙体渗漏两类高频施工病害，分析病害诱因，配套现场防控及修补工艺。研究细化各项施工参数，规范工序管控要点，可优化防渗墙成墙质量，降低现场病害发生率，为同类场地防渗施工提供实操参考。

关键词：水利工程施工；混凝土防渗墙；施工技术；病害；处理技术

引言：当下水利蓄水、防洪工程建设体量持续增加，地基渗流、坝体渗水问题频发，极易引发坝体沉降、边坡失稳隐患，混凝土防渗墙凭借适配地层广、防渗耐久性强的优势，成为主流防渗施工工艺。不同水文地质条件下，成槽、浇筑施工管控标准差异较大，常规施工工艺极易引发塌孔、接缝渗水等问题。为贴合工地施工管控要求，本文结合现场施工工序，梳理防渗墙全流程施工要点，区分常规地层与复杂地层施工工艺，针对性制定病害处置方案，理顺完整施工管控体系，助力施工现场提质增效。

1 水利工程混凝土防渗墙施工前期筹备工作

水利工程混凝土防渗墙施工前期筹备直接决定成槽质量、墙体防渗稳定性，需结合场区水文地质条件完成标准化前置作业，各项筹备工作实操性较强，具体内容如下：（1）场区专项地质复核勘察。复核地层岩土分层、砂卵石含量、地下水位、承压水水头数值，测定土层渗透系数、泥浆护壁稳定性参数，划定不良地质区段，出具专项勘察数据，为槽深、槽宽、泥浆比重设计提供实测依据，杜绝沿用通用地质资料施工。（2）施工专项方案编制校核。结合防渗墙设计墙厚、嵌入基岩深度，划分单元槽段尺寸，确定冲击钻、铣槽机适配施工工艺，编制汛期止水、塌孔应急专项方案，完成监理、业主两级技术校核，确定导墙标高、混凝土抗渗等级施工参数。（3）原材料进场复检配比调试。进场普通硅酸盐水泥、级配砂石、膨润土外加剂，核验材质合格证，开展室内配合比试验，确定水下防渗混凝土水胶比、膨润土泥浆配比，严控骨料含泥量，达标后方可批量拌合使用。（4）机具场地布设调试。平整施工作业平台，布设泥浆循环池、废渣堆放区，标定钻机垂直度校准装置，调试清浆设备、水下浇筑导管，完成用电、排水管

线布设，校验设备钻进精度，满足连续成槽施工条件^[1]。

2 水利工程混凝土防渗墙核心施工工艺流程

结合水利基坑、堤坝防渗施工现行施工规范，混凝土防渗墙施工遵循分段流水作业模式，工序衔接严格，严控工艺参数，核心施工流程如下：（1）导墙修筑与槽段划分。结合防渗墙轴线放样定位，浇筑现浇钢筋混凝土导墙，导墙内侧垂直度误差控制在 3‰ 以内；依据施工设备承载力、地层稳定性划分单元槽段，常规槽段长度控制在 5-7m，砂卵石地层缩短至 3-4m，标记槽段编号、开挖深度控制线。（2）护壁泥浆制备布设。选用膨润土、纯碱调护壁泥浆，常规地层泥浆比重控制 1.10-1.20，流沙承压水层比重提升至 1.25；连通泥浆循环池，施工全程保持槽内泥浆液面高于地下水位 1.5m，定时过滤泥浆杂质，把控泥浆黏度、含砂率指标。（4）钢筋笼吊装就位。依据槽段尺寸预制整体钢筋笼，分节吊装对接，把控钢筋笼对接焊缝质量，下放过程匀速缓慢，避免刮蹭槽壁，精准控制钢筋笼顶底标高，做好槽段接缝止水构件安装固定。（5）水下混凝土浇筑成墙。采用直升导管法水下浇筑，导管埋深维持 2-6m，连续不间断浇筑防渗混凝土，严控浇筑速度，同步测量混凝土液面高度；收尾阶段控制超灌高度，剔除顶部浮浆层，完成单槽段墙体成型，依次搭接施工直至整体防渗墙完工^[2]。

3 水利工程混凝土防渗墙关键专项施工技术

3.1 深地层厚防渗墙铣槽施工技术

该技术多用于墙深 40m 以上、墙厚 800-1200mm 基岩、密实卵石层防渗墙施工，相较于冲击钻工艺，成型槽壁平整度更高，垂直度可控性更强，成槽效率提升 40% 以上，适配大坝防渗、深基坑截水高等级施工工

况,施工工序如下:(1)施工前置标定。依托施工轴线布设铣机定位点位,复测孔位偏差控制 $\leq 30\text{mm}$,调试双轮铣铣齿间距,根据岩层硬度更换硬质合金铣齿,强风化岩层选用尖齿铣齿,中风化基岩选用平齿耐磨铣齿,标定机身垂直度传感装置,将槽孔垂直度偏差限值设定 $\leq 2\%$,提前浇筑 C20 混凝土加固铣槽作业平台,防止设备受压沉降偏移孔位,规避深孔偏孔返工问题。(2)分层铣削成槽。采用自上而下分层铣削方式,土层每层铣削深度控制 0.8m,中风化基岩每层铣削深度控制 0.3m,铣削过程不间断补给优质泥浆,槽内泥浆液面始终高于导墙底面 50cm,维持槽内液面恒定;铣削废渣通过设备自带泵体直接抽吸至泥浆净化设备,分离渣土与循环泥浆,净化达标泥浆回流槽内复用,废渣集中密闭堆放外运。(3)终孔核验修整。全槽铣削至设计嵌入岩深后,采用超声波槽壁检测仪复测槽深、槽宽、孔斜度,对槽壁局部凸起岩体进行修壁处理,采用置换法清理槽底岩屑,将槽底沉渣厚度控制 $\leq 50\text{mm}$,同步检测槽内泥浆含砂率低于 3%,满足深墙水下浇筑基底验收标准。

3.2 软弱土层、流沙地层防渗墙加固成槽技术

场区淤泥质土、粉砂流沙层承压水活跃,土体黏聚力极低,成槽后槽壁自稳能力差,极易出现槽壁垮塌、缩孔、涌水病害,施工以护壁加固、稳压成槽为核心,配套预处理+同步支护工艺施工:(1)地层超前预处理。成槽前沿防渗墙轴线外侧布设双排高压旋喷桩,桩径 600mm,桩间搭接 200mm,桩底深入不透水层 1.5m,固化流沙、软土松散土体,封堵浅层承压水渗水通道,弱化地层流动性,划定安全成槽区间,桩体养护 7d 后方可开展相邻槽段开挖作业。(2)高密度泥浆护壁施工。调配加重型膨润土泥浆,外加纯碱调节剂优化胶体稳定性,地层承压水压值 0.1-0.3MPa 时,泥浆比重取值 1.25-1.30,黏度 32-36s;槽内泥浆液面高出地下水位 1.8m 以上,停工、夜间停挖时段持续定量补浆,杜绝液面回落破坏槽壁应力平衡。(3)短幅分段开挖成型。缩短单元槽段施工长度,流沙区域槽段长度控制 2.5-3.5m,采用间隔跳槽开挖工艺,跳幅间距不小于 2 个槽段,避免相邻槽段土体应力联动溃散;开挖完成 2h 内完成清孔、钢筋笼下放,最大限度减少槽壁裸露时长,降低土体失水塌孔风险^[3]。

3.3 防渗墙槽段接头防渗密闭施工技术

槽段接头是防渗墙体主要渗水薄弱点,现场渗漏病害占比超六成,现场主流采用铣接法、预埋止水件结合施工,适配不同墙体厚度施工,工艺实操性较强,满足水利工程一级防渗等级施工要求:(1)一期槽端接头

预处理。一期槽混凝土浇筑完成初凝后,即浇筑结束 8-12h 后,采用铣槽设备对接头端面铣削打磨,剔除端面附着浮浆、夹泥,保证接头端面平整密实,铣削深度控制 20cm,高压水洗刷缝隙后清理端面松散骨料,保证新旧混凝土结合面粗糙达标。(2)止水构件预埋安装。厚墙体施工预埋镀锌止水钢板,钢板厚度 4mm,嵌入相邻槽体深度各 25cm,采用点焊固定于钢筋笼主筋;薄墙体预埋橡胶止水带,固定于钢筋笼端部,绑扎点位贴合槽中心,浇筑过程避免止水构件移位、弯折,止水构件拼接位置增设搭接补强段。(3)二期槽对接密封施工。二期槽清孔阶段重点冲洗接头结合面,高压水枪往复冲刷缝隙泥沙,直至结合面无粉质淤积;二期混凝土浇筑时放缓浇筑速率,接头位置浇筑速度减半,提升接头部位混凝土密实度,相邻槽段混凝土结合无空隙、夹层,成型后接头渗透系数与墙体本体保持一致。

3.4 自密实防渗混凝土专项浇筑技术

狭小槽宽、钢筋笼排布密集槽段,槽内作业空间狭小,常规振捣混凝土无法密实成型,易出现蜂窝、空洞缺陷,采用水下自密实防渗混凝土专项浇筑工艺,取消人工振捣作业,依托混凝土自流密实成型,适配最小 600mm 窄幅防渗墙施工:(1)混凝土拌合管控。适配水利防渗标准配比,选用 P.O42.5 低水化热水泥,掺加 I 级粉煤灰、高效聚羧酸减水剂,混凝土塌落度控制 $260\pm 20\text{mm}$,扩散度 $\geq 650\text{mm}$,严控含气量 $\leq 3\%$,抗渗等级不低于 W8,现场逐车检测和易性、流动性,离析、塌落度不达标料直接退场,严禁现场加水二次调拌。(2)导管布设管控。采用直径 250mm 密闭浇筑导管,导管底部距槽底距离控制 30-40cm,导管拼接橡胶密封垫全覆盖,逐节做水压闭水试验,杜绝浇筑渗水;单槽布设双导管,对称匀速下料,保证槽内混凝土液面同步抬升,减少槽内水体扰动,避免裹挟泥沙混入墙体。(3)连续浇筑管控。全程一次性连续浇筑,导管理深维持 3-5m,严禁拔管脱料、中断浇筑;浇筑后期放缓下料速度,降低顶部浮浆厚度,墙体成型后剔除表层 50cm 劣化混凝土,保证墙体整体抗渗性能达标,凿除浮浆后截面无夹泥、松散骨料^[4]。

4 混凝土防渗墙施工常见病害成因及防控处理技术

4.1 槽孔成槽类病害成因及现场防控处置

本类病害包含槽壁坍塌、孔内缩径、孔位偏斜三类现场高发问题,多发于砂层、卵石层、承压水发育地层,直接改变墙体截面尺寸、垂直度,施工处置要点如下:(1)主要病害成因。一是泥浆参数适配性不足,承压水地层泥浆比重、黏度偏低,槽壁侧向水土压力无

法平衡；二是槽段划分不合理，流沙地层槽段过长，土体临空面应力失衡；三是工序间隔时长超标，成槽完成后清孔、钢筋笼下放拖延，槽壁土体长期失水风化；四是设备管控不到位，钻机基座沉降未找平、钻进速率过快，直接造成孔斜、槽壁凹凸变形。（2）现场前置防控措施。承压水地层提前调配加重型护壁泥浆，严控槽内泥浆液面标高；软弱地层统一采用跳槽间隔开挖，缩短单槽开挖长度；固定钻机基座，浇筑混凝土硬化作业平台，每钻进 5m 复测一次孔垂直度；严控成槽后静置时长，普通土层 4h、流沙土层 2h 内完成后续工序。（3）事后应急处置工艺。轻微缩径采用钻机往复扫孔扩壁，同步补入优质泥浆；局部塌孔采用袋装黏土回填塌孔区段，静置稳压 4h 后重新低速钻进；孔斜偏差超标区段，采用铣齿修壁机打磨修正，无法修正槽段直接作废回填，重新放样开槽施工。现场施工需安排专人全过程监测槽内泥浆液位、孔位数值，做好每段成槽施工台账记录，提前预判地层水土压力变化，从源头降低成槽病害概率，减少返工整改，保障防渗墙施工进度与结构尺寸合规。

4.2 墙体成型渗漏结构性病害成因及防控修补

本类病害包含墙体夹泥、局部断墙、槽段接缝渗水三大质量缺陷，属于防渗致命病害，成型后无法自行闭合，需完工后定点检测、专项修补，施工管控及处置内容如下：（1）主要病害成因。一是清孔换浆不彻底，槽底、接缝处淤积沉渣泥沙，浇筑后形成夹泥夹层；二是水下浇筑不连续，中途停料、拔管过高脱离混凝土液面，形成断墙夹层；三是一期接头浮浆未铣除干净，新旧混凝土咬合粘结不足；四是混凝土和易性不达标，骨料离析，墙体局部密实度不足产生毛细渗水通道。（2）施工全过程防控手段。成槽完成后采用泵吸式彻底清孔，槽底沉渣厚度严格小于 100mm；水下浇筑全程不间断供料，规范管控导管埋深，禁止导管脱空；一期槽初凝后铣除端部 20cm 浮浆杂物，接头施工前高压水洗

结合面；进场混凝土逐车检测坍落度，离析混合料直接废弃，严禁加水二次调配。（3）成型后修补处理工艺。浅层夹泥、蜂窝渗水：凿除缺陷松散混凝土，涂刷界面剂后回填防渗微膨胀混凝土振捣密实；深层墙体点状渗漏：布设低压注浆孔，灌入水泥-水玻璃双液浆封堵渗水通道；接缝线性渗水：沿接缝开槽埋止水注浆管，分层注浆固结，加固接缝止水结构，完工后复检墙体渗透系数达标后方可回填覆土^[5]。

结束语：水利混凝土防渗墙施工具备工序衔接紧密、参数管控严苛、地层适配性要求高的特点，施工质量依托前期筹备、过程工艺、专项技术、病害防控全环节管控。普通土层可沿用常规流水施工工艺，深基、流沙、密集配筋工况，必须选用匹配专项施工技术，严控泥浆指标、浇筑速率、接头施工质量。施工病害大多由工序简化、参数适配不当造成，坚持前置防控为主、后期修补为辅的施工原则，可有效减少墙体渗漏、槽孔破损问题。后续施工需结合场地地质微调工艺参数，进一步提升防渗墙成型稳定性与止水效果。

参考文献

- [1] 刘铭瑞. 水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术[J]. 建材发展导向, 2025, 23(6): 55-57.
- [2] 高晶, 王栋. 水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术[J]. 天津冶金, 2025(5): 145-147.
- [3] 崔晶, 刘玉俊. 水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2025(8): 089-092.
- [4] 王德彦. 水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术研究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2025(11): 056-059.
- [5] 袁波文. 水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术探讨[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2025(12): 160-163.