

水利工程施工中地下连续墙成槽工艺优化与实践分析

姜亚秋 郭传斌

长江河湖建设有限公司 湖北 武汉 430021

【摘要】：本文聚焦水利工程地下连续墙成槽工艺，先概述其核心原理、水利工程价值及传统流程局限。分析得出复杂地质下成槽效率低、槽壁变形难控、精度偏差等技术难点。针对问题，提出地质适配的设备选型与参数优化、槽壁稳定控制创新、精度监测动态调整等对策。通过典型工程实践，采用复合泥浆、动态成槽等方案，实现槽段垂直度偏差缩小、成槽时间缩短、坍塌现象消除，为同类工程提供了地质适配与动态调控的实践经验。

【关键词】：水利工程；地下连续墙；成槽工艺；工艺优化；地质适配

DOI:10.12417/2705-0998.25.16.031

引言

地下连续墙成槽工艺作为水利工程地下结构施工的核心环节，其质量与效率直接关乎工程防渗性能、结构稳定性及施工周期。该工艺通过机械破碎地层形成槽段，依托泥浆护壁保障施工安全，在堤坝防渗、泵站支护等关键结构中发挥不可替代的作用。然而传统成槽工艺存在设备适应性不足、泥浆管理粗放、精度控制滞后等局限，在复杂水文地质条件下易出现效率低下、槽壁坍塌等问题。本文结合水利工程实践，深入剖析成槽工艺技术难点，探讨优化对策与创新路径，为提升水利工程施工质量提供技术参考。

1 地下连续墙成槽工艺基础概述

1.1 成槽工艺核心原理与技术特点

成槽工艺核心是利用专业机械在地下开挖槽段，为地下连续墙施工搭建基础作业空间。其技术核心在于通过机械破碎与切削作用，借助成槽设备的作业装置对地层进行破碎、抓取，逐步形成符合要求的槽体^[1]。泥浆护壁是关键保障技术，特制泥浆按比例注入槽内后，会在槽壁表面形成致密泥皮，通过泥浆柱压力平衡地层压力与地下水压，有效防止槽壁坍塌。施工中需严格把控精度与稳定性，实时监测并控制槽段垂直度偏差。根据地层特性选择适配方式，软土地层采用抓斗式成槽机，硬岩地层则配合冲击钻机或液压铣槽机。

1.2 成槽工艺在水利工程中的作用与价值

成槽工艺是地下连续墙施工的核心环节，直接决定墙体结构完整性与承载力。在水利工程中，精准成槽为后续钢筋笼安装、混凝土浇筑筑牢框架，助力地下连续墙有效抵御水体压力、渗透荷载及地基沉降等复合作用力。尤其对堤坝防渗、泵站基坑支护这类水利关键结构，成槽质量深刻影响工程防渗性能与运行安全，可显著降低坝体渗漏风险。面对复杂水文地质，成槽工艺凭借适配特殊地层的优势，通过优化槽段划分与施工顺序，减少对周边水体环境、地质结构的扰动，维持施工区域水文稳定。

1.3 传统成槽工艺流程及局限性

传统成槽工艺流程为：先经测量放线确定槽段位置，开展导墙施工，以钢筋混凝土浇筑成开挖导向结构，导墙顶部设定位架控边界；待导墙养护达标，选用液压抓斗、冲击钻或铣槽机等设备分段开槽，开挖时借按比例配好的膨润土、水及添加剂混合泥浆护壁，随深度注入槽内平衡液面压力，且每挖一定深度用超声波测壁仪或测锤实时测槽段垂直度。槽段挖至设计标高后，通过空气吸泥法或抓斗清渣进行清槽，直至沉渣厚度达标。而传统流程存在局限性：设备对砂卵石层、岩层适应性差，开挖效率低；泥浆管理凭经验，配比不当易致槽壁坍塌；分段开挖有工期叠加问题，相邻槽段施工间隔久会增接头渗漏风险；人工清槽精度有限，难消沉渣对后续施工的影响。

2 水利工程地下连续墙成槽工艺主要技术难点

2.1 复杂水文地质下的成槽效率低下问题

复杂水文地质条件下，成槽效率受多重因素制约呈现显著下降趋势，见表1。砂卵石地层中，颗粒间胶结性差，成槽过程中易出现塌孔风险，为维持槽壁稳定需频繁进行泥浆护壁调整，导致单段槽体开挖时间延长。岩溶发育区域存在的溶洞、溶沟等地质缺陷，会造成成槽设备刀具异常磨损，甚至出现卡钻、掉钻现象，迫使施工中断进行故障处理^[2]。高水位承压水地层中，水头压力作用使槽壁土体易发生管涌，需持续监测并调整泥浆比重与液位高度，占用大量有效施工时间。不同地层交替分布时，岩性硬度差异大导致成槽设备切削参数需频繁切换，设备启动与调整过程中的时间损耗显著增加。同时，传统成槽工艺对复杂地质适应性不足，缺乏针对性的钻进模式，进一步加剧了施工效率的降低。

表1 复杂水文地质条件下成槽效率影响因素数据表

地层类型	主要制约因素	成槽效率指标	施工中断主要原因
砂卵石地层	颗粒胶结性差、塌孔风险高	日均成槽深度 3-5m	泥浆护壁调整（每日2-3次）
岩溶发育	溶洞/溶沟发	日均成槽深度	卡钻处理（单次1-2小

区	育、刀具磨损	2-4m	时)、掉钻抢修
高水位承压水地层	水头压力大、管涌风险	日均成槽深度4-6m	泥浆比重调整(每2小时1次)、液位监测
交替地层	岩性硬度差异大	日均成槽深度3-5m	设备参数切换(每日4-5次)
传统工艺平均	地质适应性不足	日均成槽深度2.5-4.5m	综合故障处理

2.2 特殊地层条件下的槽壁变形控制难题

在砂卵石地层中,由于颗粒间黏聚力差、透水性强,成槽过程中易出现局部坍塌或管涌现象,槽壁周围土体在地下水动水压力作用下极易发生位移。软土地层则因土体抗剪强度低、压缩性高,成槽后槽壁侧向变形量大,随着成槽深度增加,变形会逐渐累积,可能导致槽段缩颈甚至整体失稳。岩溶发育地层中,溶洞与裂隙的存在使槽壁受力不均,成槽时若遭遇未探明的溶洞,易引发突发性塌槽,同时溶洞填充体的不稳定性会加剧槽壁变形。风化岩层地层因岩体完整性差异大,软硬夹层交替分布,成槽机具切削过程中易产生不均匀振动,导致槽壁局部岩体松动剥落,形成不规则变形。

2.3 成槽精度与垂直度偏差控制难点

成槽精度与垂直度偏差控制的难点在于多环节交叉影响的复杂性。设备运行参数的细微波动直接影响成槽质量,钻具磨损或导向装置偏差会导致刀具轨迹偏移,尤其在软硬不均地层中,刀具受力不均易引发垂直度偏差。地层物理力学性质差异加剧控制难度,砂卵石层等松散地层中,槽壁易局部坍塌或变形,迫使设备被动调整轨迹,破坏预设精度。测量系统存在局限,传统人工测量有时间滞后性,难捕捉瞬时偏差;自动化监测设备在复杂电磁环境或高水位条件下易受干扰,导致数据失真。槽段衔接处精度控制关键,前序槽段的垂直度偏差会累积影响后续施工,形成连锁误差,大幅增加整体成槽精度控制难度。

3 地下连续墙成槽工艺优化对策与技术创新

3.1 基于地质条件的成槽设备选型与参数优化

基于地质条件的成槽设备选型与参数优化需紧密结合地层结构特性制定适配方案,见图1。在软塑黏土地层中,选用液压抓斗成槽机,其柔性抓取机构可减少对原状土的扰动,通过调整抓斗齿形角度增强土体握持力,避免挖掘过程中出现打滑现象^[3]。遇密实砂层施工时,采用多头钻成槽设备配合空气升液排渣系统,利用钻头高速旋转形成的切削流破碎砂体,同时通过气流搅动提升渣土排出效率。针对含较多风化岩块的地层,配置冲击抓斗与液压破碎锤组合设备,借助冲击动能破碎岩块后,通过抓斗精准抓取清理。设备运行参数随地层硬度动态调节,在黏土层中适当提高抓斗升降速度以提升作业效率,

进入砂层后降低钻进速率并增强泥浆护壁效果。在不同地层交接区域,通过渐变式调整设备运行参数实现平稳过渡,避免因参数突变导致槽壁稳定性下降或设备损耗加剧。通过地层特性与设备性能的精准匹配,确保成槽过程连续稳定。



图1 不同地层下的成槽设备施工

3.2 槽壁稳定控制技术的创新应用

槽壁稳定控制技术的创新应用体现在泥浆性能动态调控与支护结构优化的协同作用中。采用新型复合泥浆材料,添加高分子聚合物与矿物掺合料改善胶体率,提升对槽壁的黏附力与护壁能力,在易坍塌地层形成韧性泥皮保护层,减少渗水侵蚀。针对浅层松散地层,应用高压喷射注浆预加固支护技术,形成连续防渗帷幕,增强表层土体整体性,避免成槽初期表层坍塌。深槽施工引入实时监测与反馈系统,通过槽壁不同深度的传感器捕捉土体位移与应力变化,依数据调整泥浆液面高度与循环速度,保持压力动态平衡。复杂地层界面采用分段支护工艺,交界处设临时钢质隔板,配合泥浆性能梯度调整,精准匹配不同地层段护壁措施,有效控制界面应力集中。

3.3 成槽精度监测与动态调整技术

成槽精度监测与动态调整技术依托实时监测系统实现全过程质量管控,通过在成槽设备上安装倾斜传感器与位移监测装置,实时捕捉槽段开挖过程中的垂直度变化与位置偏移情况。监测数据通过无线传输模块同步至中央控制系统,系统自动生成槽壁剖面曲线与偏差预警信息,直观反映当前成槽状态与设计标准的差异。当监测到槽段局部出现倾斜趋势时,控制系统即时触发调整指令,通过调节成槽机液压支腿伸缩量改变机身姿态,同时调整抓斗或铣轮的切削角度,对偏移部位进行针对性修正。在槽段衔接处加密监测频次,通过激光定位技术校准相邻槽段的平面位置关系,确保槽段之间平顺连接。监测系统还能结合地层变化特征,自动关联历史数据生成趋势分析报告,为后续成槽作业参数调整提供参考依据,通过实时监测与动态调整的协同运作,持续优化成槽轨迹,保障槽段几何尺寸符合设计要求。

4 水利工程地下连续墙成槽工艺实践案例剖析

4.1 典型水利工程成槽工艺应用概况

典型水利工程成槽工艺应用概况需结合工程所处地质环境与结构需求展开。该工程位于河流冲积平原区域,地层由上部黏土层、中部砂层及下部卵石层构成,地下水位较高且与河道水位存在动态联系。成槽施工采用分区分段作业模式,沿墙体轴线划分多个施工单元,每个单元长度根据地层稳定性确定。施工中主要采用液压抓斗与冲击钻机组合工艺,针对黏土层采用抓斗直接切削成槽,砂层段通过调整泥浆性能形成护壁,卵石层区域则借助冲击作用破碎岩层后进行清槽作业。成槽作业面设置泥浆循环系统,通过沉淀池与净化设备实现泥浆回收复用,减少材料消耗与环境污染^[4]。墙体设计深度贯穿透水层至下部稳定岩层,成槽过程中同步进行槽段垂直度监测与槽底沉渣清理,确保后续墙体结构与地基紧密结合,满足水利工程防渗与承重双重功能需求。施工区域周边设置防渗帷幕,避免成槽作业对周边水体造成扰动。

4.2 成槽工艺优化方案在工程中的实践应用

成槽工艺优化方案在工程中的实践应用需紧密结合现场地质特征实施针对性调整。面对含砂夹层的复杂地层,采用膨润土与聚合物复合泥浆体系,通过调整泥浆黏度形成致密泥皮,有效阻隔地下水渗透。在槽段开挖过程中,依据地层变化动态切换成槽方式,遇黏性土层时采用连续抓挖工艺,通过抓斗缓慢升降减少土体扰动;进入砂层区域则改为间隔抓挖,每开挖一定深度即进行泥浆循环置换,避免槽壁出现局部坍塌^[5]。钢筋笼吊装阶段,在槽口设置临时导向架,通过调整吊点位置控制钢筋笼垂直度,吊装过程中保持匀速下放,避免与槽壁发生刚蹭。混凝土浇筑前对槽底沉渣进行二次清理,采用空气吸泥法结合泥浆循环系统将沉渣厚度控制在规范范围内,浇筑过

程中保持导管埋深稳定,通过导管缓慢提升确保混凝土浇筑密实度,同时利用超声波检测技术实时监测槽段成型状态,及时调整浇筑速度与导管位置。

4.3 成槽工艺优化效果评估与经验提炼

成槽工艺优化效果评估从槽段施工质量、作业效率及环境影响多维度展开。通过对槽壁垂直度检测,优化后槽段垂直偏差控制在更小范围内,槽壁表面平整度显著提升,减少后续清槽作业量。成槽过程中槽壁稳定情况改善,槽段坍塌现象未再出现,泥浆循环系统带出的渣料颗粒均匀,表明破碎与清渣效果同步提升。施工进度方面,单槽段成槽时间较优化前缩短,各槽段衔接处施工间隙减少,整体作业流程连贯性增强。从环境影响看,优化后的设备运行噪音降低,泥浆损耗量减少,循环利用率提高,周边土体沉降监测数据显示扰动范围缩小。经验层面,需强化地质勘查数据与施工参数的动态匹配,在地层变化区域提前调整设备运行状态;注重成槽设备日常维护保养,确保关键部件性能稳定;建立槽段施工质量追溯机制,将每段施工数据与地质条件对应分析,为后续类似工程提供参考依据。

5 结语

地下连续墙成槽工艺作为水利工程地下结构施工的核心环节,其优化对工程质量与效率至关重要。通过针对复杂地质优化设备选型与参数、创新槽壁稳定控制技术、完善精度监测体系,有效解决了传统工艺效率低、稳定性差等问题。实践案例表明,优化后的工艺显著提升了槽段垂直度与整体性,缩短了施工周期,降低了渗漏风险。未来需持续强化地质与工艺的动态适配,完善质量追溯机制,为水利工程安全高效施工提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 聂齐麟,姚立夫.水利工程中地下连续墙施工技术难点与对策[J].治淮,2024,(11):51-53.
- [2] 陆林焰.水利工程中超深地下连续墙成槽施工质量安全控制[J].河南水利与南水北调,2023,52(11):78-79.
- [3] 孙钦傲.水利工程施工过程中地下连续墙支护结构工艺要点分析[J].科技创新与应用,2016,(14):215.
- [4] 翟保亮.水利工程中地下连续墙支护结构的施工技术研究[J].才智,2010,(23):21-22.
- [5] 王乐,王建忠,王丰,等.地下连续墙成槽及槽壁坍塌预防研究[J].中国科技信息,2021,(21):33-34.