

浅谈十一轴搅拌水泥土防渗墙施工技术的实践应用

——以湖南省洞庭湖区重点垸（松澧垸）堤防加固工程为例

陈 静

岳阳永安工程技术有限公司 湖南 岳阳 414000

摘 要：本文以某重点垸堤防加固工程为探究对象，系统阐述十一轴搅拌水泥土防渗墙施工技术在实际工程中的应用情况。通过分析工程概况、施工条件、技术难点，详细介绍十一轴搅拌桩机作业流程、供应系统运行管理机制并对施工过程监测与质量控制标准、工程实体检测与成效分析等方面进行深入探讨。研究表明，该技术具有施工效率高、成墙质量好、防渗效果显著等优势为同类工程提供了可借鉴经验，对推动水利工程施工技术进步具有重要价值。

关键词：十一轴搅拌桩机；水泥土防渗墙；施工技术

引言：随着国家水利基础设施建设不断推进，堤防工程防渗技术受到广泛关注。传统防渗墙施工方法在效率、质量等方面存在一定局限性，特别是面对大型水利工程紧张工期、严格质量要求及复杂地质条件等挑战时表现不足^[1]。十一轴搅拌水泥土防渗墙施工技术作为一种创新工法，通过六浆五气配置、三维空间搅拌、信息化监控等技术手段，为水利工程防渗墙施工提供新思路。本文以某堤防加固工程为例，对该技术应用进行系统研究，以期为类似工程提供技术参考与借鉴。

1 工程概况与施工条件

1.1 松澧垸工程规模与防渗要求

洞庭湖区重点垸堤防加固工程作为国家150项重大水利工程之一，采用EPC总承包模式，合同金额达9.1亿元。该垸位于某水北岸与某河西支西岸交界处，涉及三个县市，保护总面积达785.26平方公里，耕地57.40万亩，总人口73.67万人，工农业总产值431.54亿元。一线防洪大堤全长88.773公里，堤防级别为2级，涉及某水干流与相邻省交界水域。

防渗墙设计采用水泥掺量15%、深度12至18米、最小厚度30厘米水泥土防渗墙，单轴抗压强度R28不小于0.3兆帕，渗透系数K不大于 1×10^{-5} 厘米/秒，允许渗透比降大于50，工程总量达49万平方米。根据施工合同总进度要求，需在2023年汛期前完成全部水泥土防渗墙施工内容，这对施工单位组织管理、技术应用与工程质量控制均提出极高要求，同时也为新技术应用提供现实契机^[2]。

1.2 施工环境与技术难点分析

工程所处区域气候条件复杂，季节性降水集中，地质构造多变，土质结构不均匀，给防渗墙施工带来诸多挑战^[3]。施工过程面临五大技术难点：工期要求紧迫，常

规施工方法难以保证按期完成；防渗墙设计深度大、厚度要求高，施工精度控制难度大；场地条件受限，机械设备转场频繁，要求设备具备较强机动性与适应性；土层结构复杂，含砂砾石层与软硬不均层交替分布，对搅拌均匀性提出更高要求。

防渗指标严格，需保证整体连续性与防渗性能。针对上述难点施工单位在某河西K69+200至K86+600段堤基与堤身防渗墙施工过程中，首次引进十一轴深层搅拌水泥土施工技术。该技术通过创新设备配置与工艺流程，有效解决传统工法局限性，为工程按期高质量完成提供技术保障，同时也成为全国首个采用十一轴搅拌桩机设备堤防工程项目，具有重要示范价值^[4]。

2 十一轴搅拌水泥土防渗墙施工工艺

2.1 十一轴搅拌桩机作业流程

十一轴搅拌水泥土防渗墙施工工艺作为水利工程防渗领域新技术，其作业流程体现系统化设计理念与科学施工方法，通过精确控制与智能监测实现高质量成墙。该工艺采用两喷两搅法，在专用液压履带式移动支撑机上安装集成式搅拌桩机系统，形成完整作业单元。设备构造上采用三支点垂直立柱导杆结构，确保施工稳定性与精准度，动力头总成使用永磁变频及超频技术，可根据地层变化特性实时调整搅拌参数^[5]。作业特点体现为轴体结构优化设计与搅拌效率提升，多轴协同工作使防渗墙形成均匀连续墙体，有效避免传统单轴工艺易产生短板效应问题。每根搅拌轴配置特殊设计翼片，形成立体交错搅拌区域，显著提高土体与水泥浆混合均匀度。搅拌桩机工作过程中，通过精准定位系统确保桩位精度，采用液压调平装置保证垂直度符合技术规范要求。多轴协调转动系统确保各轴同步运行，避免因转速

差异导致混合不均问题。全作业流程包括前期准备、定位就位、搅拌下沉、复搅提升、检测核验五个环节，形成闭环管理体系。

智能控制系统贯穿搅拌桩机全过程作业，实现参数实时监控与自动调整功能。工作开始前，施工负责人根据设计文件与现场条件确定关键技术参数，并输入控制系统预设值。施工过程中，系统根据土层特性自动调整下钻速率与搅拌强度，适应性解决不同地层下施工难题。桩机就位后进入搅拌下沉阶段，十一根搅拌轴同步启动，保持适宜转速与下降速率，确保土体破碎与初步混合效果。同时后台系统同步开启送浆与送气程序，根据预设配比输送水泥浆，气体通过独立通道注入，形成气液混合搅拌环境。当钻头到达设计深度后，进入复搅提升阶段，此时搅拌轴改变转向，以合适速率上升，实现土体与水泥浆二次搅拌，进一步提高均匀性。特别设计提升控制装置，避免因提升过快导致负压形成与孔壁坍塌。全过程采用云端监测体系，通过多传感器实时获取作业参数，形成完整数据链，支持质量追溯与效果评估。作业完成后，系统自动生成作业记录，包括关键参数与异常情况，为后续质量评估提供依据。搅拌桩机作业流程中特别强调工序衔接与环境适应性，能够根据天气变化与地质条件灵活调整施工策略，确保各种环境下均能达到预期防渗效果。

2.2 浆、气、电供应系统及运行管理

十一轴搅拌桩机浆、气、电供应系统采用集成化设计理念，通过模块化配置与智能化管理，实现资源高效利用与系统稳定运行。该系统创新性采用平板挂车作为移动式综合后台，将水泥储存、制浆、供气、供电等功能集于一体，解决传统分散式供应难以协调问题。后台设计秉承集约高效、环保安全、转场便捷三大原则，采用密闭结构与智能监控系统，大幅降低现场粉尘污染与噪音水平。制浆系统采用计算机控制全自动配比装置，根据工程要求与土质条件自动调整水泥浆配方，确保浆液性能稳定可控。水泥由卧式储存仓通过密闭输送装置进入制浆单元，经精密计量、高速搅拌后形成均匀浆液，再经多级过滤系统去除杂质与气泡，确保浆液质量。储浆系统采用双罐交替工作模式，配备搅拌装置防止沉淀分层，同时设置温度调节装置，确保不同环境条件下浆液性能稳定。输送系统采用高压变频泵组，通过智能控制器实时调整泵压与流量，适应不同深度与地层需求。供气系统采用无油静音压缩机组，配合精密过滤与除水装置，提供稳定干燥气源，通过分配系统向指定搅拌轴输送，实现气液配比精确控制，促进搅拌均匀性。

供电系统作为整体能源保障，采用低噪音环保型发电机组，配备自动电压调节与负载平衡系统，确保各用电设备稳定运行。系统运行管理建立在数字化监控平台基础上，实现全过程参数采集与异常智能预警。运行前制定完善预案，明确各系统启停顺序与紧急处置流程，确保安全高效运行。浆液管理方面建立全链条质量控制体系，从原材料检验、配比核算到输送监测形成闭环管理。浆液配置过程中严格控制水泥品质与配比精度，通过自动化设备降低人为误差。输送过程实时监测管路压力与流量变化，发现异常立即启动应急处置程序。管路系统设计采用快速接头与防堵塞结构，便于清洗维护，延长设备使用寿命。供气系统管理重点关注气压稳定性与水分控制，防止因气源不稳导致搅拌均匀度下降。电力系统管理着重于负载分配与能源效率，通过智能调节实现节能运行。整体系统运行过程中，建立多级安全保障机制，从设备本身安全装置到操作规程制定，再到应急预案演练，形成完整安全管理体系。施工记录管理采用信息化手段，通过电子化记录替代传统纸质记录，提高数据准确性与完整性。数据采集覆盖制浆参数、输送状态、气压变化等关键指标，通过云平台实时上传与分析，为质量控制提供科学依据。全过程视频监控与关键节点图像采集相结合，形成可视化管理模式，支持远程技术指导与质量评估。



3 施工质量控制与工程效果评价

3.1 施工过程监测与质量控制标准

十一轴搅拌水泥土防渗墙施工过程监测采用多层次立体化监控体系，将传统监测手段与现代信息技术有机结合，形成覆盖全工序实时监控网络。监测系统架构包

含现场参数采集模块、数据传输处理模块与应用分析模块,通过全链条数据流实现施工状态实时掌握与质量控制。现场采集端配置传感设备监测关键工艺参数,包括搅拌深度、速率、角度、浆量等指标,采用物联网技术将数据实时传输至监控中心。监控平台采用分层设计,基础层负责数据收集存储,中间层实现数据分析处理,应用层提供可视化展示与预警功能。智能分析系统能够基于历史数据建立质量评估模型,对实时施工参数进行比对分析,发现偏离预设范围情况立即触发预警机制。监控平台面向多方管理主体开放权限,使施工单位、监理方与建设方能够同步获取施工状态信息,形成多方监督合力,大幅提高质量管控效率。系统设计中特别注重数据安全与可靠性,采用多重备份与加密传输方式,确保监测数据准确可靠。

施工质量控制标准体系基于技术规范与设计的要求,结合工程实际条件,构建多级分类控制指标体系,明确各项参数可接受范围。标准体系采用三级控制结构,包括工程单元控制标准、分项工序控制标准与关键节点控制标准。工程单元按照每六副墙划分一个质量控制单元,工序控制按每副墙独立实施。控制标准分为强制性指标与引导性指标两大类,强制性指标主要针对材料性能、施工工艺与成墙质量等关键要素,引导性指标则关注施工效率、环境保护等方面。质量控制标准执行过程中,建立动态评估与调整机制,根据施工初期检测结果对标准实施情况进行评估,必要时进行科学调整,确保标准既能保证工程质量又能适应现场实际情况。标准执行过程采用分级检查制度,施工班组进行自检,专职质检员进行复检,监理方与建设方联合抽检形成多层次检查验收网络。异常情况处理预案作为标准体系重要组成部分,详细规定各类质量问题应急处置流程与责任划分,确保问题发现后能够及时有效处置,将质量风险控制在可接受范围内。

3.2 工程实体检测与成效分析

工程实体检测采用科学取样与多项检测方法,全面评估防渗墙实际性能。按照每500米为一组进行实体开

挖检测、钻孔取芯、注水试验三大类检测,分别评估墙体均匀连续性、轴心抗压强度与防渗性能。实体开挖检测通过对成墙后防渗墙进行局部开挖,直观观察墙体结构、搅拌均匀度与连接情况;钻孔取芯通过钻取不同深度芯样进行强度试验,评估抗压强度指标;注水试验采用自上而下分段检测方法,评估透水系数与防渗效果。

检测结果表明,十一轴搅拌水泥土防渗墙施工技术应用成效显著:墙体成型质量优良,搅拌均匀性好,结构连续完整;轴心抗压强度检测结果均满足设计要求;注水试验各项指标达到设计标准。施工效率方面,相比传统工法,单日成墙速度得到了提高有效解决工期紧张问题;成本控制方面单副墙体达3.575米,减少搭接孔数量,节约了水泥用量降低了施工成本。环保效益方面一体化移动平台减少现场扬尘与噪音,改善施工环境。

结论:该技术采用六浆五气搅拌方式,结合高效供应系统与信息化监控手段,有效解决传统防渗墙施工中存在效率低、质量波动大、成本控制难等问题;通过设备集成创新与工艺流程优化,实现了防渗墙施工全过程精准控制;实体检测结果表明,防渗墙成墙质量良好各项性能指标符合设计要求;应用效果显示该技术在工期控制、质量保证、成本节约等方面具有显著优势,对推动水利工程施工技术进步具有重要意义。建议进一步完善监测系统优化施工参数,扩大技术应用范围,为水利工程建设提供更加可靠技术支撑。

参考文献

- [1]李维明,陈嘉帅.薄壁水泥土防渗墙挖掘机链锯切割施工技术研究[J].重庆建筑,2025,24(1):72-75.
- [2]陈静,陈海明,朱延琳.三轴水泥土搅拌桩防渗墙抗渗效果试验研究[J].江西建材,2024(2):183-185,194.
- [3]孟祥海,朱顺田.水泥土搅拌桩防渗墙在环境整治工程中的应用分析[J].石油化工建设,2024,46(5):123-125.
- [4]黄建旗.深层搅拌等厚水泥土防渗墙在水库除险加固工程中的应用[J].云南水力发电,2023,39(7):158-162.
- [5]徐辉.圩堤加固工程中水泥土搅拌桩防渗墙施工技术研究[J].吉林水利,2023(3):60-64.