

# 深基坑支护技术在泵站工程施工中的优化分析

丁卫东

新疆建设兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830011

**摘要:** 深基坑支护技术作为保障泵站工程安全施工的核心环节,其优化直接关系到工程稳定性、经济性与环境适应性。本文针对泵站工程中地质条件复杂、基坑深度大、周边环境敏感等挑战,系统分析排桩支护、地下连续墙、复合土钉墙等技术的适用性,提出组合支护结构创新、新型材料应用、智能化施工工艺改进及全生命周期监测等优化策略。通过数值模拟与工程案例验证,优化方案可有效控制基坑变形,降低施工成本,减少环境影响,为同类工程提供技术参考。

**关键词:** 深基坑支护技术; 泵站工程施工; 优化

**引言:** 随着城市化进程加快,泵站工程作为城市防洪、排涝及供水体系的关键节点,其建设规模与深度日益增大,深基坑支护技术的重要性愈发凸显。泵站工程常面临地质条件复杂、基坑深度大、周边环境敏感等挑战,传统支护方式难以满足安全、经济、环保的多重需求。因此,如何通过技术创新与工艺优化,提升深基坑支护的适应性、稳定性及施工效率,成为泵站工程领域亟待解决的关键问题。

## 1 深基坑支护技术概述

### 1.1 常见深基坑支护技术类型

(1) 排桩支护: 核心形式包括钻孔灌注桩、人工挖孔桩等,通过桩体有序排布形成挡土屏障,具有施工适应性强、承载力高的特点,能有效抵御土体侧向压力,广泛应用于各类地质条件的深基坑工程。(2) 地下连续墙支护: 采用成槽机开挖沟槽后浇筑混凝土形成连续墙体,兼具挡土与抗渗双重功能,整体性好、刚度大,适用于深度大、地质复杂且地下水丰富的泵站等大型工程。(3) 土钉墙与复合土钉墙支护: 通过土钉植入土体并与喷射混凝土面层结合形成支护体系,复合式增设微型桩、锚索等构件提升稳定性,具有造价低、施工便捷的优势,适配软土地区中小型泵站基坑。(4) SMW工法桩: 由型钢插入水泥土搅拌墙构成,挡土与止水一体化,施工振动小、污染少,且型钢可回收重复利用,契合城市周边泵站工程绿色施工需求。(5) 内支撑与锚索体系: 内支撑采用钢或混凝土构件形成内部支撑结构,锚索通过外部拉锚提供支护力,常与其他支护形式协同使用,能精准控制基坑变形,适配周边环境敏感的泵站深基坑。

### 1.2 泵站工程深基坑特点

(1) 地质条件复杂性: 泵站多选址于江河湖海沿

岸,常遭遇软土、砂层、岩石等多种地层交错分布的情况,部分区域存在地下水富集、易发生管涌或流沙等问题,显著增加支护设计与施工难度。(2) 基坑深度与形状的特殊性: 为满足泵站机组安装、水流通道布设需求,基坑开挖深度普遍较大,且平面形状受泵房、进出水构筑物布局限制,多为不规则多边形,对支护结构的适应性与整体性要求极高。(3) 周边环境敏感性: 多数泵站位于城镇核心区域或居民区附近,邻近建筑物、地下管线、交通干道等重要设施,基坑施工过程中需严格控制变形与振动,避免对周边设施造成破坏,环保与安全约束严苛<sup>[1]</sup>。

### 1.3 支护技术选型原则

(1) 安全性、经济性、可行性综合分析: 选型需优先保障支护结构稳定可靠,能抵御土体压力、地下水等荷载作用,同时兼顾造价控制,选择材料易获取、施工工艺成熟的方案,确保施工过程高效可行,实现三者平衡。(2) 动态设计理念: 基于地质勘察资料初步制定支护方案,施工过程中通过监测基坑位移、土体应力、地下水位等关键数据,及时反馈调整设计参数,适配施工中地质条件的动态变化,保障支护体系始终处于安全状态,规避工程风险。

## 2 深基坑支护技术在泵站工程施工中的优化分析

### 2.1 支护结构形式优化

(1) 组合支护技术应用: 针对泵站基坑地质复杂、深度大且周边环境敏感的特点,组合支护技术成为优化核心方向,如排桩+锚索+内支撑的组合形式,通过排桩阻挡土体侧向变形,锚索提供外部拉锚支护力,内支撑增强结构整体刚度,三者协同作用可有效控制深基坑位移,适配软土与砂层交错分布的地质条件;另有地下连续墙+SMW工法桩的组合,兼顾抗渗与挡土功能,满足

泵站基坑地下水丰富的支护需求。(2) 新型材料应用: 高强度混凝土、纤维增强材料等新型材料的推广应用, 显著提升支护结构性能, 高强度混凝土可减小排桩、地下连续墙的截面尺寸, 降低材料用量的同时保障承载力; 纤维增强材料(如碳纤维、玻璃纤维)用于加固支护构件, 提升抗裂性与耐久性, 适配泵站基坑长期浸水的工作环境, 延长结构使用寿命。(3) 轻量化与可回收结构设计: 践行绿色施工理念, 采用轻量化钢材替代部分混凝土构件, 降低支护结构自重与施工荷载; 推广可回收型钢SMW工法桩、可拆解内支撑等结构, 施工完成后回收核心材料重复利用, 减少资源消耗与建筑垃圾, 契合泵站工程绿色建造的发展要求。

## 2.2 施工工艺优化

(1) 信息化施工: 依托实时监测系统实现施工全过程信息化管控, 通过在基坑侧壁、周边建筑物、地下管线布设位移、应力传感器, 结合地下水位监测设备, 实时采集施工数据并传输至控制中心, 基于数据反馈动态调整支护参数, 如当监测到位移超预警值时, 及时加密锚索或调整内支撑预应力, 规避支护风险。(2) 机械化施工提升效率: 引入旋挖钻机替代传统冲击钻机, 实现排桩成孔高效化、精准化, 降低施工噪声与振动; 采用自动化搅拌设备控制混凝土、水泥土的配合比, 保障支护材料质量稳定性; 借助吊装机器人完成型钢、内支撑构件的安装, 提升施工效率的同时减少人工干预, 适配泵站基坑大规模、快节奏的施工需求<sup>[2]</sup>。(3) 绿色施工措施: 针对泵站多位于城镇区域的特点, 优化施工工艺减少环境影响, 如采用低噪声设备、设置隔音屏障控制噪声污染; 通过洒水降尘、密闭式运输车辆控制粉尘扩散; 建立泥浆循环处理系统, 避免施工泥浆污染周边水体, 实现施工与环境的和谐共生。

## 2.3 数值模拟与监测技术

(1) 有限元分析: FLAC3D、PLAXIS等专业数值模拟软件广泛应用于泵站基坑支护优化, 通过构建地质与支护结构三维模型, 模拟不同施工阶段的土体变形、应力分布及地下水渗流情况, 提前预判支护结构可能出现的薄弱环节, 为支护方案设计提供科学依据, 如通过模拟确定内支撑的布设间距、锚索的拉力参数等。(2) 监测数据反馈机制: 建立“监测-分析-反馈-调整”的闭环机制, 对基坑位移、构件应力、地下水位等关键指标进行持续监测, 监测数据经专业软件分析后, 快速反馈至设计与施工团队, 形成针对性调整方案, 确保支护结构始终处于安全状态, 保障周边设施稳定。(3) 基于BIM技术的施工模拟与风险预警: 利用BIM技术构建基坑支护

与泵站主体结构的一体化模型, 实现施工过程可视化模拟, 提前排查交叉施工冲突; 集成监测数据与BIM模型, 设置预警阈值, 当监测数据异常时自动触发预警, 同步推送至相关责任人, 提升风险处置的及时性与精准性<sup>[3]</sup>。

## 2.4 成本控制与工期管理

(1) 全生命周期成本分析: 突破传统仅关注施工阶段成本的局限, 开展涵盖设计、施工、维护全生命周期的成本分析, 设计阶段通过优化支护结构形式降低材料与施工成本, 施工阶段通过精细化管理减少返工与材料浪费, 维护阶段依托新型材料与优质施工降低后期维修费用, 实现全流程成本最优。(2) 工序优化与并行作业: 通过梳理施工流程, 识别关键路径工序, 优化支护施工与土方开挖、主体结构施工的衔接顺序, 采用并行作业模式, 如在排桩施工的同时开展锚索钻孔准备工作, 在地下连续墙浇筑完成后同步进行内支撑基础施工, 缩短关键路径工期, 确保泵站工程按时竣工投用。

## 3 案例分析

### 3.1 工程概况

某泵站工程位于南方沿江地区, 主要承担区域防洪排涝及灌溉供水任务。地质勘察显示, 场地土层从上至下依次为粉质黏土、淤泥质软土、中砂层及强风化砂岩, 地下水位较高, 埋深1.2-2.0m, 存在软土承载力低、砂层易管涌的风险。基坑规模为长68m、宽42m, 开挖深度15.8m, 属于大型深基坑, 周边50m范围内分布有居民楼、市政污水管网及110kV高压线, 周边环境敏感。

### 3.2 支护方案设计与优化

(1) 初始方案与优化后方案对比: 初始方案采用“地下连续墙+单层内支撑”, 虽能满足支护安全要求, 但内支撑布设影响基坑内施工空间, 且造价较高; 优化后方案调整为“排桩+锚索+局部内支撑”组合形式, 排桩采用 $\Phi 800\text{mm}$ 钻孔灌注桩, 间距1.2m, 锚索分3层布设, 在基坑转角等应力集中区域保留局部内支撑, 既保障支护刚度, 又拓展施工作业空间。(2) 优化依据: 基于FLAC3D软件数值模拟, 优化方案可将基坑最大水平位移控制在25mm内, 较初始方案减少30%, 满足周边建筑物变形控制要求; 经济性分析显示, 优化后方案省去地下连续墙高额施工成本, 材料与施工费用降低22%, 同时可回收锚索型钢, 进一步降低资源消耗。

### 3.3 施工过程与效果评价

(1) 关键施工节点控制: 施工前采用管井降水将地下水位降至开挖面以下2m, 避免砂层管涌; 开挖过程遵循“分层分段、先支后挖”原则, 每层开挖深度不超过2m, 同步完成对应层锚索安装与张拉; 严格控制支护构

件施工精度,确保排桩垂直度偏差 $\leq 0.5\%$ 。(2)监测数据与理论值对比分析:施工全过程监测显示,基坑最大水平位移23mm,沉降12mm,均小于数值模拟理论值(25mm、15mm),周边居民楼及地下管线变形均在允许范围内,监测数据与理论值拟合度高,验证了优化方案的合理性。(3)安全性、经济性、环保性综合评价:施工全过程未发生坍塌、管涌等安全事故,安全性达标;造价较初始方案显著降低,工期缩短15天,经济性突出;采用低噪音旋挖钻机,配合洒水降尘措施,噪音与粉尘排放均符合环保标准,实现三者协同优化。

#### 4 深基坑支护技术在泵站工程施工中的优化建议与展望

##### 4.1 技术优化建议

(1)加强地质勘察与风险评估:地质勘察是泵站深基坑支护设计的前提,需采用钻探与物探结合的综合勘察方式,全面查清场地土层分布、地下水动态及不良地质体(如软弱夹层、溶洞)情况,提升勘察数据精准度;同时建立全周期风险评估机制,结合周边建筑物、地下管线分布特征,识别坍塌、管涌、周边设施破坏等潜在风险,制定分级防控预案,为支护方案优化提供可靠依据。(2)推广智能化监测与预警系统:依托物联网、大数据技术构建全域监测网络,在基坑侧壁、周边构筑物及地下管线布设位移、应力、地下水位等智能传感器,实现施工全过程数据实时采集与传输;开发基于算法模型的智能预警平台,设置多级预警阈值,数据异常时自动触发声光预警并推送至责任主体,联动应急处置措施,提升风险防控的及时性与精准性<sup>[4]</sup>。(3)完善标准化设计规范与施工指南:针对泵站深基坑地质复杂、环境敏感的特点,修订专项设计规范,明确不同工况下支护技术选型标准、设计参数取值范围;编制精细化施工指南,规范施工工序、质量控制要点及监测数据验收标准,统一行业技术要求,减少人为因素对工程安全与质量的影响。

##### 4.2 未来研究方向

(1)极端地质条件下的支护技术:聚焦岩溶地区、高水位软土地区、深厚砂层等极端地质场景,开展专项

支护技术研发,如岩溶区抗塌型复合支护结构、高水位地区一体化止水挡土体系,解决极端环境下支护结构稳定性差、抗渗能力不足等难题,拓展支护技术在特殊场地泵站工程中的适配性。(2)人工智能在深基坑施工中的应用:深化人工智能与施工管控的融合,基于机器学习、深度学习算法,构建融合地质、施工参数的基坑变形预测模型,实现变形趋势精准预判;开发智能决策系统,自动优化支护方案、动态调整施工参数,推动施工管控从“被动处置”向“主动预判”转变,提升智能化水平<sup>[5]</sup>。(3)低碳环保型支护材料与工艺研发:响应“双碳”目标,研发可降解高分子支护材料、再生骨料混凝土等低碳材料,降低材料生产碳排放;优化施工工艺,推广无泥浆成孔、模块化装配式支护等绿色技术,减少施工噪音、粉尘污染及建筑垃圾排放,实现泵站深基坑施工的绿色低碳转型,助力行业可持续发展。

##### 结束语

综上所述,深基坑支护技术在泵站工程施工中需兼顾安全性、经济性与环保性。通过组合支护技术、新型材料应用及智能化施工工艺优化,可显著提升支护体系的适应性与稳定性。结合数值模拟与实时监测,实现动态设计与风险预警,进一步保障施工安全。未来,应聚焦极端地质条件下的技术突破、人工智能深度应用及低碳材料研发,推动泵站深基坑工程向智能化、绿色化方向转型,为城市水务基础设施建设提供更可靠的技术支撑。

##### 参考文献

- [1]张永清.市政雨水泵站深基坑支护施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2024(8):196-198.
- [2]朱晓同.泵站基坑施工中管井降水技术的应用研究[J].建筑理论,2025,(6):82-83.
- [3]朱士战.SMW工法墙在水利泵站工程深基坑支护中的应用[J].地下水,2023,45(02):294-295.
- [4]李猛.提水泵站工程中深基坑开挖与降水的施工方法[J].建筑理论,2023,(4):70-72.
- [5]田佳润.深基坑工程降水施工技术优化分析[J].建筑科学,2025,(6):105-106.