

# 水利工程深基坑开挖支护施工技术与变形监测

叶齐源 蒋 润

江苏淮阴水利建设有限公司 江苏 淮安 223001

**摘 要:** 水利深基坑临水布设, 水文地质条件复杂, 受动水压力、汛期水位波动影响较大, 边坡滑移、基底突涌等施工风险极高。本文分析水利深基坑工况特征与变形诱因, 阐述分层分段开挖、排桩、钢板桩及锚喷复合支护施工工艺, 梳理临水防渗、汛期施工管控要点, 构建专项变形监测体系, 设置分级预警与应急处置机制。研究优化临水基坑施工管控方案, 有效防控基坑变形, 保障工程及周边水工构筑物安全, 为同类项目提供参考。

**关键词:** 水利工程; 深基坑开挖; 支护施工技术; 与变形监测

引言: 水利深基坑多坐落河道滩地, 地层结构复杂、地下水补给充足, 与普通房建基坑差异显著, 水位波动、土体渗流极易引发基坑失稳事故。现阶段水利基建工程不断增多, 狭长型临水基坑施工难度加大, 传统支护施工与监测方案针对性不足, 难以适配水利工程特殊水文工况。为此本文结合工程实际, 整合深基坑开挖支护核心技术, 完善变形监测管控体系, 解决临水基坑施工痛点, 筑牢水利基坑施工安全防线。

## 1 水利工程深基坑基础理论及工况特征

### 1.1 水利深基坑工程核心概念界定

#### 1.1.1 水利工程深基坑判定标准

水利行业通常将基坑开挖深度超过5米(或虽未超过5米但周边环境复杂、水文地质条件恶劣)的基坑定义为深基坑。区别于建筑标准, 水利工程更强调开挖深度与地下水位的关系, 当基坑底部位于历史最低水位以下时, 即纳入深基坑管理范畴。

#### 1.1.2 水利基坑与房建基坑差异性分析

两者主要差异体现在: 水利基坑多位于河畔、滩地, 具有“临水、狭长、战线长”的特点; 房建基坑则相对规则、封闭。水利基坑受地表水体补给影响显著, 需同时承受土压力与动水压力双重作用, 而房建基坑以土压力为主。

#### 1.1.3 基坑支护、基坑变形监测核心定义

基坑支护是为保证基坑边坡稳定及施工安全而采取的结构支撑、土体加固等工程措施的总称。基坑变形监测则指在施工过程中, 利用专业仪器对基坑边坡位移、支护结构内力及周边沉降进行实时量测与反馈的活动。

### 1.2 水利深基坑施工地质与水文工况特点

#### 1.2.1 流域周边岩土体地质结构特征

流域多发育二元或多元结构地层, 上部为粘性土、下部为砂卵石层, 且常伴有软弱夹层或透水透镜体, 导

致地层力学性质不均, 易发生局部突涌。

#### 1.2.2 地表水、地下水渗流分布规律

水利深基坑多处于强透水层中, 地下水补给速度快。在河流与地下水存在紧密水力联系时, 渗流场分布随河水位变化呈现动态调整特征, 常形成绕渗或管涌通道。

#### 1.2.3 汛期水位波动对基坑施工干扰分析

汛期河水位暴涨暴跌, 会导致基坑内外水头差瞬间增大, 引发基底突涌、边坡管涌。同时, 水位涨落所形成的循环动水压力会加速土体颗粒流失, 降低边坡抗滑稳定性, 严重时可导致基坑淹没或坍塌<sup>[1]</sup>。

### 1.3 水利深基坑施工风险及变形诱因分析

#### 1.3.1 基坑边坡滑移、坍塌施工风险

主要由于开挖坡率过陡、坡顶超载或暴雨入渗导致土体抗剪强度骤降而引发, 属于水利基坑最频发的安全事故。

#### 1.3.2 水土压力引发基坑侧向变形诱因

基坑开挖卸荷破坏了原始地应力平衡, 在主动土压力与外侧静水压力共同挤压下, 支护结构产生朝向坑内的水平位移。当嵌固深度不足时, 易发生踢脚破坏。

#### 1.3.3 地下水渗透导致基坑沉降变形机理

由于基坑内外水头差的存在, 渗透水流带动细颗粒土通过孔隙通道流失, 形成潜蚀或流土。当土体骨架被掏空后, 有效应力重新分布, 引发坑外地面不均匀沉降及坑底隆起变形。

## 2 水利工程深基坑开挖关键施工技术及支护工艺

### 2.1 水利深基坑分层分段开挖施工技术

#### 2.1.1 基坑开挖分区、分层施工方案设计

依据基坑形状、支护结构及出土路径, 划分长度为30~50m的施工段, 实行“纵向分段、竖向分层、先撑后挖”方案。每层厚度控制在2.0~3.0m, 与锚杆排距或内支撑间距匹配。相邻区段高差 $\leq 1.5\text{m}$ , 并设1:2~1:3缓

坡过渡,防止应力集中引发塌方。

### 2.1.2 临水基坑降水、截水前置施工工艺

开挖前必须先施工截水帷幕(如三轴搅拌桩或高压旋喷桩),并启动管井或轻型井点降水系统。贯彻“先截后降、分层降水”原则,将地下水位降至当前开挖面以下0.5~1.0m。临水侧增设钢板桩或注浆屏障,切断河水侧向补给通道。降水期间每日监测水位及出砂量,出砂率>0.03%时立即调整方案<sup>[2]</sup>。

### 2.1.3 开挖速率管控与边坡临时防护要点

严格控制单日开挖长度 $\leq 20\text{m}$ ,每层开挖深度 $\leq 1.5\text{m}$ ,避免快速卸荷诱发土体蠕变。每完成一层开挖后,立即对临时边坡喷射50~60mm厚C20细石混凝土封闭,坡顶设300mm×300mm截水沟。雨季施工时坡面覆盖防水彩条布,坡脚堆置砂袋防冲刷。

## 2.2 适配水利工程主流基坑支护施工技术

### 2.2.1 排桩支护施工工艺与质量控制要点

采用旋挖钻机或冲击钻成孔,孔径不小于600毫米,桩间距按计算确定(常用1.0~1.5米),桩身混凝土强度不低于C30。水下灌注时导管埋深控制在2~4米,严禁断桩。质量控制:桩位偏差 $\leq 50\text{mm}$ ,垂直度 $\leq 0.5\%$ ,桩顶超灌高度不小于500毫米,凿除后与冠梁整体浇筑。桩间土采用挂网喷射混凝土封闭,防止流土。

### 2.2.2 钢板桩围堰支护临水基坑施工技术

选用U型或Z型热轧钢板桩(如拉森IV型),桩长须穿透软弱层进入相对不透水层不少于1.5米。采用振动锤逐根插打,锁口涂抹黄油混合物以减小摩阻力并增强止水。合龙时如出现锁口偏差,采用异形桩或骑缝搭接补桩。围堰内侧按2~3米间距设置型钢围檩及对撑,形成封闭空间受力体系,钢板桩与围檩之间用硬木楔塞紧。

### 2.2.3 锚杆+挂网喷锚复合支护施工流程

标准流程为:开挖修坡→锚杆孔定位钻孔(孔径130~150毫米)→清孔→下入锚杆(钢筋或钢绞线)→一次常压注浆(水灰比0.5)→挂设 $\Phi 6@200\times 200$ 钢筋网→焊接 $\Phi 14$ 加强筋→喷射C20混凝土80~100毫米→养护→二次高压注浆(压力0.5~1.0兆帕)→张拉锁定<sup>[3]</sup>。锚杆抗拔力须达到设计值的90%以上方可进行下层开挖。

## 2.3 基坑支护施工质量管控与临水优化措施

### 2.3.1 支护结构原材料质量验收标准

钢材、水泥、外加剂进场须核验质保书及复检报告,严禁使用锈蚀严重或过期材料。钢板桩重点检查锁口无裂纹、无扭曲,桩身弯曲度 $\leq 0.2\%$ 桩长。排桩钢筋笼焊接搭接长度:单面焊 $\geq 10d$ 、双面焊 $\geq 5d$ 。锚杆注浆材料进行结石率( $\geq 85\%$ )及7天、28天抗压强度检

测,锚固体28天强度不低于25兆帕<sup>[4]</sup>。

### 2.3.2 汛期、雨水天气支护施工防控措施

汛期来临前完成坡顶截水沟及集水井硬化,配备备用大流量潜水泵(总排水能力为设计渗流量的1.5倍)。雨后复工必须对支护结构进行全面巡查,重点检查桩间渗漏、坡面裂缝及锚头松动,发现渗水点立即用快干水泥或水玻璃封堵。暴雨预警发布后,基坑内所有人员机械撤至地面安全区,并切断非防水电源。

### 2.3.3 支护结构接缝防渗施工处理技术

排桩桩间先铺设镀锌钢丝网并喷射100毫米厚C20混凝土,预埋 $\Phi 50$ 软式排水管引流残留水。钢板桩锁口可采用膨润土泥浆或遇水膨胀止水条嵌缝。对连续渗流部位,采用模袋混凝土覆盖或高压注浆(水灰比0.6:1,掺入10%水泥用量的水玻璃)形成附加止水帷幕。处理后进行渗流量观测,要求单点渗漏量 $\leq 0.1\text{升/分钟}$ ,否则需补浆或施打补桩。

## 2.4 开挖支护协同施工管控策略

### 2.4.1 开挖与支护流水作业施工安排

严格执行“分层开挖、随层支护、先撑后挖”原则。以每2.0m深度为一个作业循环:上层支护达设计强度70%后,方可下层开挖。现场划分挖机、支护、监测三个班组流水作业,每层暴露时间 $\leq 48\text{h}$ 。

### 2.4.2 超挖、乱挖施工问题整改方案

超挖部位立即采用级配碎石或C15素混凝土回填至设计标高,严禁虚土覆盖。对乱挖导致的坍塌区,先清除塌体并修坡至1:1.5~1:2,增设锁脚锚杆(长 $\geq 3\text{m}$ ,间距1.5m),重新挂网喷射混凝土。同时加强现场测量双检复核。

### 2.4.3 临近水工构筑物施工防护管控

当基坑边缘距堤防、涵闸小于1.5倍基坑深度时,必须在构筑物一侧布设测斜管及沉降观测点。开挖时将该区段压缩至10m以内,并加密支撑(间距加密30%)。对堤防基础采用跟踪注浆(压力 $\leq 0.3\text{MPa}$ ),严格控制沉降速率 $\leq 2\text{mm/d}$ 、累计沉降 $\leq 20\text{mm}$ ,超限立即停工并采取回填反压措施。

## 3 水利工程深基坑变形监测体系设计与监测实施

### 3.1 基坑变形监测原则与监测指标确定

#### 3.1.1 水利基坑专项监测布设基本原则

遵循“系统全面、重点突出、临水加密、动态控制”原则。监测点须覆盖基坑边坡、支护结构、地下水位及周边水工建筑物,尤其强化临水侧及渗流通道部位布点,形成空间立体监测网络。

#### 3.1.2 基坑边坡水平位移监测指标

采用全站仪极坐标法或视准线法,测定边坡坡顶及每级马道平台的水平位移量。监测精度要求 $\pm 1$ 毫米,位移速率超过3毫米/天即进入预警状态。

### 3.1.3 基坑竖向沉降、支护桩内力监测指标

竖向沉降通过精密水准仪观测坡顶、坑底及周边地表沉降;支护桩内力在桩身主筋上布设钢筋应力计,监测弯矩及轴力变化。沉降速率超2毫米/天、内力达设计值70%时需密切关注。

### 3.1.4 周边水工建筑物联动变形监测指标

对堤防、涵闸等构筑物布设沉降及裂缝观测点,设定差异沉降限值10毫米、裂缝宽度限值2毫米,确保深基坑施工不对水工结构安全造成不可逆影响。

## 3.2 变形监测点位布设与设备选型

### 3.2.1 监测基准点、观测点标准化布设方案

基准点埋设在基坑3倍开挖深度外的稳定区域,数量不少于3个,形成闭合控制网。观测点沿基坑坡顶每15~25米布设一处,转角及临水侧加密至10米间距。支护桩内力监测点选取典型断面,每断面不少于2根桩。

### 3.2.2 临水基坑专用监测仪器设备选型

水平位移采用0.5秒级高精度全站仪;竖向沉降使用DS05级精密水准仪配套钢钢尺;支护内力选用振弦式钢筋应力计及频率读数仪;地下水位采用自动记录式水位计<sup>[5]</sup>。临水侧宜布设固定式测斜仪,实现自动化采集。

### 3.2.3 监测线路布设规避水文干扰优化方案

监测线路避开地表径流通道及积水区域,仪器测站选在硬化地面或浇筑混凝土墩台上。对受潮汐或汛期水位影响的基准点,定期(每月)进行联测校核,消除水位波动引起的基准点变位误差。

## 3.3 监测流程与数据采集处理技术

### 3.3.1 常态化监测频次与汛期加密监测方案

基坑开挖期间每日监测1次;遇雨季、汛期或变形速率异常时加密至每日2~3次。暴雨及洪水过境期间实行2小时一轮的加密监测,直至险情解除。基坑封底后逐步放宽至每3~7天1次。

### 3.3.2 现场监测标准化作业流程

流程为:仪器检查与校准→基准点复核→按既定线路逐点测量→现场记录并初判数据合理性→发现异常立即复测确认→数据上传至信息化管理平台→生成监测日报。所有操作须由持证监测人员完成。

### 3.3.3 监测数据降噪、校核与整合处理方法

原始数据剔除粗大误差,采用移动平均法或滤波算

法降噪。对同一点位的水平位移与沉降数据进行交叉校核,利用多个基准点平差计算提高精度。最终将位移、内力、水位等多源数据整合绘制时程曲线及变形云图,为风险研判提供依据。

## 3.4 监测预警阈值设置与险情处置机制

### 3.4.1 水利基坑三级变形预警数值划定

黄色预警:水平位移累计达20毫米或单日速率超3毫米/天;橙色预警:累计达30毫米或速率超5毫米/天;红色预警:累计达40毫米或速率超8毫米/天,或支护结构出现明显裂缝、渗漏突然增大。

### 3.4.2 预警信息传输与分级响应流程

监测数据自动触发预警后,短信及平台推送至项目部。黄色预警由技术负责人组织分析;橙色预警须总工程师及监理到场,调整施工方案;红色预警立即停工,启动应急预案,同时上报建设单位及主管部门。

### 3.4.3 超标变形险情应急加固、排水处置措施

立即停止坑内作业,疏散人员。对变形集中区域采取坡脚堆土反压、增设预应力锚索或增加内支撑。渗漏险情时,在迎水面注双液浆(水泥-水玻璃)封堵,坑内设置导流管并加大排水能力。稳定后方可复工。

## 结束语

本文结合水利工程水文地质特点,总结深基坑分层开挖、多种支护施工工艺,明确临水、汛期施工质量控制措施,搭建全覆盖基坑变形监测网络,落实三级预警及险情处置流程。施工中坚持先截后降、先撑后挖原则,联动施工与监测工作,可有效降低土体变形、渗漏坍塌风险。后续可结合智能化监测技术优化管控模式,提升极端水文天气下基坑施工稳定性,助推水利基坑施工技术提质升级。

## 参考文献

- [1]张正.水利工程深基坑支护与降排水施工技术及其变形控制研究[J].水利科技与经济,2025,31(4):89-92.
- [2]欧阳明勇.基坑深层水平变形智能监测技术研究与应用[J].施工技术,2025,54(1):108-113.
- [3]曹亮.临水水利基坑开挖变形特征及自动化监测体系构建[J].测绘通报,2024,14(5):112-117.
- [4]王健.临水水利工程深基坑钢板桩支护施工及变形监测技术[J].黑龙江水利科技,2023,51(8):132-134.
- [5]刘阳.水利枢纽深基坑复合支护施工工艺及动态变形监测技术[J].江苏水利,2022,7(11):45-48.