

水利工程中深基坑支护技术分析

赵兴棚

(安徽水安建设集团股份有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 深基坑开挖是水利工程中的重要内容, 风险较高, 对技术要求极高。深基坑支护稳定性不足极易造成水利工程发生严重的安全事故, 对整个项目建设效果和安全运营造成不利影响。本文以深基坑支护技术为例, 通过深入分析该技术的基本原理与优势, 总结深基坑支护施工技术要点。结果表明, 在水利工程深基坑支护施工中采用“三轴搅拌桩围封墙+深井降水”复合技术, 能实现围护结构精准设计、降水系统合理布置、监测预警机制建设等, 以构建完善的管理体系, 从而保证水利工程深基坑支护安全性、可靠性达到要求。

关键词 水利工程; 深基坑支护技术; 三轴搅拌桩; 深井降水; 基坑监测

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.10.013

0 引言

水利工程施工中深基坑往往设置在滩地、河岸等地带, 其受到软弱土层、地下水位、高承压水、汛期、洪水等多重因素影响造成基坑支护结构损坏。深基坑施工过程中需选择适宜支护方式, 确保深基坑结构具备稳定性, 防止水利工程运行过程中引发流砂、管涌、失稳等事故, 确保项目施工过程中人员与工程安全不受影响。但是对于水利工程而言, 在深基坑施工过程中存在较高风险, 部分工程地质条件为高渗透粉细砂层, 并且赋存承压水, 施工区域紧邻淮河, 且相关主河道防洪安全形势极为严峻。为提升水利工程深基坑支护强度, 确保水利工程项目能稳定开展, 针对深基坑支护技术要点展开研究具有重要的价值。

1 深基坑支护技术原理

水利工程中深基坑支护是指在开挖深度大于 5 m 以上的基坑进行施工, 深基坑支护是开挖时为防止基坑周边土体坍塌, 控制地表水及地下水的渗流, 保护周边建筑物、构筑物及各种地下管线安全所采取的一种技术措施。深基坑支护的工作原理是: 采用挡土结构(地下连续墙、排桩、钢板桩等)承受土压力和水压力, 并配合内支撑或锚杆系统平衡受力; 用降水或止水帷幕(高压旋喷桩、三轴搅拌桩)等手段控制地下水, 形成“挡土+止水+支撑”三位一体稳定体系。深基坑支护结构设计要依据土层性质、水文条件、基坑几何尺寸以及邻近环境等条件选择, 保证整个开挖过程基坑的稳定性和开挖后的变形在可接受范围内,

保证基坑内的泵站、闸室、地下厂房等水工结构安全^[1]。

2 深基坑支护技术优势

2.1 有效控制基坑变形与周边沉降

水利工程深基坑往往邻近堤防、河道及既有水工构筑物, 对变形非常敏感, 采用刚度较大的支护形式, 可有效限制围护结构侧向位移, 有效控制坑外土体的应力释放和地表沉降。同时通过合理布置支撑层并施加预加轴力可提前调整支护体系受力状态, 避免支护变形累积导致邻近构筑物开裂、渗漏。对于软土地段, 在基坑内及坑底进行坑内加固或坑底被动区加固, 能控制基底的隆起, 确保水利设施的正常运行。

2.2 兼具挡土与止水双重功能

水利深基坑通常位于高水位、强透水性的地层, 不能应用传统的支护方法解决其挡土及防渗问题。目前常用的现代支护有地下连续墙、TRD 工法墙和 SMW 工法桩等, 它们都可以通过水泥土或者混凝土形成连续封闭的隔水帷幕来阻断地下水的流向, 从而实现“支护即止水”的一体化作用。这种设计方式能够大大减少钻孔降水工序, 也可以很大程度上降低对周边地层的扰动, 在一定程度上避免出现由于降水而产生的地面沉降、管涌等问题。对于临河靠海等地高水头差地方而言, 可靠的止水是确保基坑干作业条件以及主体结构抗浮的关键。

2.3 适应复杂地质与水文条件

水利工程深基坑穿越淤泥、砂层、粉土等地层, 且多层混合, 地下水较丰富, 支护方法可根据现场地

作者简介: 赵兴棚(1990-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 水利水电工程技术。

质情况,运用多种工法组合使用来实现稳定。在软弱土层多用设置多道内支撑加固,对于砂性土层则可以考虑注浆或者采用冻结方法,对于岩土交界处尽量增大嵌固深度,避免滑移;支护体系还可以和降水、回灌结合起来设计,并随基坑支护体系的安装及时调整地下水位。它的高度可调适特点可应用于泵站、船闸、取水口等各种类型的水利构筑物在各地质单元中所需的开挖尺寸要求,能保证施工安全及工期可控。

3 深基坑支护关键技术

水利工程深基坑支护项目开展过程中,深基坑支护技术类型多种,研究选择“三轴搅拌桩围封+深井降水+明沟排水”的复合支护技术展开分析,具体实施如下。

3.1 三轴搅拌桩围封墙

围封墙是本工程支护体系的核心,其作用在于延长渗径、阻断渗流,形成一个独立的“干岛”。

3.1.1 结构设计

深基坑支护工程建设阶段,围封墙一般可选三轴水泥土搅拌桩开展作业,其中墙厚设计为600 mm左右,并将墙体直接深入第二层重粉质壤土深度1.0 m以上,从而使其封闭效果合格,并且支撑具备稳定性。墙体中心线和结构物外边线距离为6 m,保证现场有足够操作空间,且渗流路径达到通畅性要求^[2]。同时,在搅拌桩施工阶段与相邻桩体搭接长度超250 mm,通过桩体咬合实现防渗性整体性提升。该围护墙设计长度达到420 m,通过闭合方式组合形成矩形平面结构,转角位置设置转角桩或调整桩位方式保证其连接达到强度要求。搅拌桩桩顶统一控制在地面以下0.5 m,为后续冠梁施工和现场平整度处理提供基础。同时,搅拌桩施工结束后确保垂直度偏差在1/200以内,桩位偏差不超过20 mm。搅拌桩施工中水泥掺量根据加固土体质量20%控制,保证桩体结构强度满足标准。此外,围封墙上部设置截面尺寸800 mm×600 mm的混凝土压顶梁,确保结构强度达到工程要求。

3.1.2 施工工艺

基坑支护施工作业阶段,围封墙采取一次成型、连续工艺方案。在项目施工前进行搅拌桩工艺验证,确定搅拌桩混凝土水灰比15%,下沉速率0.5~1.0 m/min,提升速度0.5~1.0 m/min。在搅拌桩施工作业阶段检测其垂直度,利用吊线锤保证搅拌桩垂直度偏差在0.5%以下。搅拌桩施工中钻杆下沉到设计深度20 m以上,再开启压力0.4 MPa的灰浆泵进行注浆,并在注浆过程中进行搅拌,从而使搅拌桩强度达到要求。在搅拌

桩机提升环节持续喷出浆液,确保整个桩体长度的水泥土均匀拌和。在相邻搅拌桩施工环节采取搭接方式进行连接,并采取套接一孔的方式保证桩体连接强度达到要求。按照项目施工工艺方案,每根桩体施工时间为45 min,单日成墙长度达30~40 m。

3.2 深井降水与明沟排水

在围封墙形成的封闭区域内,通过主动降水与被动排水相结合的方式,彻底解决地下水问题。

3.2.1 深井疏干

水利工程深基坑支护施工设置疏干井,将其布置在基坑内部,距结构物外线3.5 m处采取环向6口布置方式以达到良好排水效果^[3]。疏干井设计深度14 m,井底高程0 m,其穿透上部弱透水层直接进入下部砂层内。疏干井每口井成孔直径600 mm,井管使用直径300 mm无砂混凝土滤管,外包60目尼龙滤网。疏干井填充2~4 mm石英砂,使其回填面到地面以下2 m,上部2 m使用黏土封孔。疏干井配置流量20 m³/h、扬程30 m的深井泵,确保其运行过程中排水效果达到要求。同时,在深基坑支护施工阶段监测疏干井内水位变化情况,保证在施工作业阶段地下水位始终处于开挖面以下0.5 m。而深井泵在运行过程中设置备用泵,其数量超过总需要量20%。同时,井口高出地面0.3 m,且在周边设置必要围栏以及标识牌。疏干井在基坑内部按环向均匀布设,位置避开主体结构基础区域,成孔采用机械钻进工艺,确保孔壁稳定。井管下放前对滤管进行外观检查,保证无破损、无堵塞,滤网包裹严密并固定牢靠。滤料回填分层进行,避免架桥或局部空洞,回填至设计高度后实施黏土封孔,防止地表水下渗。深井泵安装前进行试运转,确认转向、扬程及出水正常后固定于井内指定深度。泵体通过专用支架或吊索稳固,电缆沿井壁绑扎并引至配电箱^[4]。井口周边设置防护围栏,高度满足安全要求,并悬挂警示标识。所有疏干井接入统一排水主管线,排向指定沉淀池或市政排水系统。

3.2.2 明沟排水

水利工程深基坑的底部周边设置排水明沟,确定其沟底纵坡0.5%以上,能够实现排水效果的提升。而在深基坑施工四角以及局部低洼位置布置集水坑,能及时收集基坑内的积水,并在基坑底部铺设防渗土工布达到干燥度标准。在基坑布置阶段配置15 m³/h、扬程20 m的潜水泵,再使用DN100镀锌钢管将水引出到外部排水系统内。基坑上口外侧3 m设置截水沟,尺寸0.6 m×0.8 m,使用M7.5砂浆砌筑沟底,设置坡度超过0.3%,将地表水径流直接引入排水主渠内。此外,

经过明沟排水系统布置后,在基坑底部周边开挖出一条连续的排水沟,沟体断面大小随基坑底部汇水面积和预期排水强度而定,沟底需保持连续顺直并成稳定的纵坡;集水坑布置于基坑四个角部和局部汇水低点处,其深度、容积等应满足在泵抽结合前临时蓄水需要,若积水较多,则布置多道集水井;基坑底部完全铺设防渗土工布,接头处用搭接或者缝合的办法,达到整体防渗的目的;潜水泵需按照一定的数量设在各集水坑中,并且固定在集水坑内的固定支架上;潜水泵的出水管伸向基坑内壁;穿越坑壁的水管则要套管保护。基坑上口外围布置截水沟,截水沟为浆砌浆砌石结构,沟底沟壁均作防冲刷处理,其走向根据现场地形、地貌沿自然位置发展,其末端与场区主排水系统相连通,这样就能构建完善的地表水和地下水排导体系。

3.3 全过程监测与信息化管理

为确保万无一失,工程建立了严密的监测网络,将“被动应对”转变为“主动防控”。

3.3.1 监测内容

深基坑支护施工阶段建设完善监测体系,保证深基坑施工过程中掌握各项技术参数。在深基坑监测阶段,需掌握基坑顶部水平位移、深层土体水平位移、围护结构沉降、周边地表沉降、承压水变化等。在深基坑顶部位移监测过程中,将监测点位布置在围护结构顶面,监测点间距为 15 m。而在仰角、转角、临近建筑物、地下管线等关键位置,将监测点位设置距离缩短到 10 m,并安装高精度全站仪进行监测工作^[5]。

在水利工程深基坑施工过程中,其深层土体位移使用围护桩外侧预埋 PVC 测斜管方式监测,其埋设深度 25 m,能够贯穿潜在滑动面掌握土体的滑移参数。在深层土体水平位移监测阶段,监测点距离为 2 m,能够及时掌握不同位置土体位移变化特性。而围护结构和周边地表沉降使用同一高程控制网,需将沉降点监测数据直接传输到后台控制系统内,从而构建完善的深基坑监测体系。在深基坑支护施工中,承压水监测极为重要,将承压水监测点设置在基坑外围 10 m 内,井深 18 m,穿透弱透水层进入承压含水层内。承压水监测采用钢弦式或浮子式水位传感器,能够及时掌握承压水位的变动情况。上述监测数据信息传输到后台控制系统,由工作人员及时掌握各项数据信息并了解深基坑支护特性。

3.3.2 监测频率

根据《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497-2019)相关规定,结合工程基坑安全等级为一级、开

挖深度超过 12 m 的实际,制定分级动态监测频率。在正式开挖前,完成不少于三次稳定初始值观测,作为后续变形分析基准。基坑开挖深度小于 5 m 阶段,位移及沉降类项目每 2 日监测 1 次;当开挖深度处于 5 m 至 10 m 区间时,监测频率调整为每日 1 次;开挖深度超过 10 m 后,所有位移、沉降及测斜项目均提高至每日 2 次,分别安排在上午和下午固定时段进行,以捕捉昼夜温差及施工扰动引起的变形差异。实行 24 小时自动连续监测承压水水位,每隔 1 小时采集 1 次,经无线传输到项目管理平台;当累计变形量达到设计允许值的 70%,启动黄色预警,由监测单位发函告警,提示施工单位加强巡查;累计变形量达到设计允许值的 85%,启动橙色预警,召集项目技术负责人赴现场会诊,研究风险处置措施,并结合项目施工进度安排,动态调整施工工序和方式;累计变形量达到设计允许值 100%,启动红色预警,立即停止施工,启动应急预案,并采取局部回填反压、增加临时支撑、暂停降水或者换序开挖等应急处置措施。当天的数据必须整理分析完毕,异常数据必须 2 小时内复测,切实做到早发现、早预警、早处置,切实推动从“事后应对”向“事前预控”转变。

4 结束语

水利工程深基坑支护施工容易发生安全性事故,尤其是在特殊地质条件下极易因为支护施工不规范引发质量与安全事故。根据水利工程深基坑支护施工要求,在现场施工作业阶段构建并完善监测体系,采用三轴搅拌桩、围封墙形成防渗屏障,再利用深井疏干+明沟排水方式及时排出基坑内积水,从而保证基坑结构具备稳定性。同时,水利工程深基坑支护施工需落实各项监控措施,通过建设全过程、高精度自动化监测体系,能及时掌握深基坑施工各项参数,保证水利工程建设和运营效果达到良好状态。

参考文献:

- [1] 黎子荣.双排桩在水利工程深基坑支护中的应用[J].河南水利与南水北调,2021,50(05):39-41.
- [2] 谭广湘.深基坑支护技术在水利工程中的应用[J].石材,2023(11):124-126.
- [3] 洪振国,潘忠华,陈立松.大型水利工程隧洞进口深基坑支护型式研究[J].灌溉排水学报,2024,43(S1):24-27.
- [4] 龙钢.水利工程永临结合预应力管桩深基坑支护关键技术[J].水上安全,2024(20):130-132.
- [5] 朱宇琦.水利工程中套闸深基坑支护结构分析与技术应用[J].小水电,2023(01):31-35.