

# 水利工程施工深基坑开挖与支护技术优化研究

文 / 魏 健 衡宇建设集团有限公司

**摘要:** 为应对水利工程深基坑开挖与支护面临的技术挑战,对相关技术进行优化研究。通过分析基坑稳定性、支护结构设计选型、施工环境与技术适应性、地质与水文条件不确定性以及施工安全风险控制等难题,提出相应的优化方案,包括基坑稳定性优化、支护结构设计优化、施工环境及地质与水文条件适应性技术优化、安全风险管控技术优化等。研究认为,这些优化方案有助于提升水利工程深基坑开挖与支护的技术水平,为保障工程安全和质量提供有力支撑。

**关键词:** 水利工程; 深基坑开挖; 支护技术; 技术优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.069

## 引言

在水利工程建设领域,随着基础设施建设的持续推进,众多大型水利项目不断涌现。深基坑作为水利工程的重要组成部分,其开挖与支护技术直接关乎整个工程的质量、安全及进度。然而,水利工程深基坑施工面临诸多复杂难题。一方面,基坑稳定性极易受周边环境、土体特性等因素影响;另一方面,支护结构的设计与选型需综合考虑多种因素,且施工环境复杂多变,地质与水文条件存在不确定性,这些都给施工带来极大挑战。因此,开展水利工程深基坑开挖与支护技术优化研究,对提升施工质量、降低安全风险具有重要现实意义。

### 一、水利工程深基坑开挖与支护的技术挑战

#### (一) 基坑稳定性问题

在水利工程深基坑施工中基坑稳定性是关键问题。首先,基坑周边土体的性质差异显著,软土地区土体抗剪强度低,在开挖过程中易产生较大变形,若支护措施不当,极易引发基坑边坡坍塌。其次,基坑开挖过程中应力重分布明显随着土体的不断移除,坑壁及基底土体原有的应力平衡被打破,导致土体向坑内位移,若位移过大则会影响基坑稳定性。再者,施工过程中的降水作业也会对基坑稳定性产生影响。过度降水可能导致周边地面沉降,引发周边建筑物基础下沉、开裂等问题;而降水不足则可能使基坑底部土体处于饱和状态,降低土体抗滑力。此外,周边动荷载作用,如过往车辆、临近工程施工振动等也会对基坑稳定性构成威胁,长期的振动可能使土体颗粒逐渐松散降低土体的整体稳定性。

#### (二) 支护结构的设计与选型难题

支护结构的设计与选型在水利工程深基坑施工中至关重要,但面临诸多难题。不同的地质条件和基坑深度对支护结构要求差异巨大。例如在深厚软土地层,需采用刚度较大的支护结构来控制变形,若选用不当可能无法有效抵抗土体侧压力。同时,支护结构的选型还需考虑经济性。一些复杂且昂贵的支护方案虽能满足工程

安全要求,但可能大幅增加建设成本。此外,施工工期对支护结构选型也有影响<sup>[1]</sup>。对于工期紧张的项目需选择施工速度快、安装便捷的支护形式,否则可能延误工期。而且,支护结构的耐久性也不容忽视。水利工程长期受水浸泡、侵蚀等作用,若支护结构耐久性不足在工程运营期可能出现安全隐患。另外,支护结构与周边环境的协调性也需考量,如在城市区域施工需避免对周边建筑物、地下管线等造成不良影响。

#### (三) 施工环境与技术适应性问题

水利工程施工环境复杂多样,给深基坑开挖与支护技术带来诸多适应性难题。在山区,地形起伏大,场地狭窄,大型施工设备难以布置和操作,传统的施工技术和设备难以施展。同时,山区地质条件复杂,岩石破碎、节理裂隙发育,增加了施工难度和不确定性。在严寒地区,冬季低温对混凝土浇筑、土体冻结融化等产生不利影响,可能导致混凝土强度不足、土体冻胀破坏支护结构。而在高温高湿地区施工材料易受潮变质,机械设备易生锈损坏,影响施工质量和进度。此外,不同的施工场地周边环境也不同,如临近既有建筑物、地下管线密集区等,施工时需采取特殊的保护措施避免对周边设施造成破坏,这对施工技术的选择和实施提出了更高要求。并且,一些水利工程位于生态敏感区,施工过程中需严格控制对生态环境的影响这也限制了部分施工技术的应用。

#### (四) 地质与水文条件的不确定性

地质与水文条件的不确定性是水利工程深基坑开挖与支护面临的重大挑战。地质勘察虽能获取一定的地质信息,但由于地质条件的复杂性,勘察结果可能存在误差。例如,实际地层中可能存在未探明的软弱夹层(如图一所示)、溶洞等,在基坑开挖过程中遇到这些情况可能导致基坑坍塌、突涌等事故。水文条件同样难以精确预测,地下水位的变化受多种因素影响,如季节性降水、上游来水、周边地下水开采等。若地下水位在施工

过程中突然上升会增加基坑支护结构的水压力,降低土体抗剪强度增加基坑失稳风险<sup>[2]</sup>。此外,地下水的腐蚀性也具有不确定性,若地下水对支护结构材料有腐蚀性,会缩短支护结构的使用寿命影响工程安全。而且,不同区域的地质与水文条件相互作用关系复杂进一步增加了施工的难度和风险。



图一 软弱夹层

#### (五) 施工过程中安全风险控制难题

水利工程深基坑施工过程中存在众多安全风险,控制难度大。首先,高处作业风险高,在基坑周边的临边防护、上下通道设置不当等情况下,施工人员易发生高处坠落事故。其次,土方开挖过程中,若未按规定进行分层分段开挖可能导致边坡失稳坍塌,掩埋施工人员和设备。再者,深基坑内空间狭窄,通风条件差可能积聚有害气体,如硫化氢、甲烷等,若未及时检测和通风易引发中毒窒息事故。此外,施工用电设备多,若电气设备未按要求接地接零、电线老化破损等,容易引发触电事故。大型机械设备在基坑内作业时也存在碰撞、倾覆等风险。而且,施工过程中交叉作业频繁,各工种之间协调配合不当容易引发物体打击等事故。同时,施工人员的安全意识和技能水平参差不齐,若安全教育培训不到位也会增加安全事故发生的概率。

### 二、水利工程深基坑开挖与支护技术优化方案

#### (一) 基坑稳定性优化措施

基坑稳定性是水利工程深基坑施工的核心关注点。在施工前期,借助先进的地质勘察技术,如多道瞬态面波法,全面且精确地掌握基坑周边土体的物理力学性质,为后续设计提供可靠依据。开挖过程中,严格遵循“分层分段、限时开挖、及时支护”原则,每层开挖深度控制在3-5米,分段长度根据现场实际情况确定,一般不超过10米,每段开挖完成后8小时内完成支护作业,有效减少土体的无支撑暴露时间,降低应力集中风险。实时监测是保障基坑稳定性的重要手段。在基坑周

边和基底布置位移、沉降、应力等多种监测点,利用自动化监测系统,实现24小时不间断数据采集与分析<sup>[3]</sup>。当监测数据达到预警值时,如边坡水平位移速率超过3mm/d,立即启动应急预案,采取增加支撑、回填反压等措施。此外,注重降水对基坑稳定性的影响。通过建立水文地质模型,精确计算降水井的布局和抽水量,确保地下水位稳定降至基底以下0.5-1.0米,同时设置回灌井,防止因过度降水导致周边地面沉降。在某大型水库大坝基坑施工中,通过上述优化措施成功将基坑变形控制在极小范围内,保障了工程的顺利进行。

#### (二) 支护结构设计优化技术

支护结构设计需综合考虑地质条件、基坑深度、周边环境等因素。针对软土地层,优先选用刚度大、止水性能好的地下连续墙,并结合内支撑体系,有效控制基坑变形。例如,在某沿海城市的水利工程中,地下连续墙厚度采用1.2米,内支撑采用钢结构,间距根据计算优化为3-4米,确保了基坑在复杂软土环境下的稳定性。对于硬土层或岩石层,土钉墙、锚杆支护等形式更为经济适用。在设计过程中,运用有限元分析软件,如ANSYS,对不同支护方案进行模拟分析,对比其在不同工况下的受力和变形情况,选择最优方案。同时,注重支护结构的耐久性设计。选用耐腐蚀的钢材、混凝土等材料,对钢材进行热浸镀锌、涂覆防腐漆等处理,在混凝土中添加抗渗剂、防腐剂等外加剂,提高其抗侵蚀能力。通过优化支护结构的构造形式,如采用变截面支撑、合理布置锚杆位置等,减少不必要的材料浪费,降低工程造价。

#### (三) 施工环境适应性技术优化

水利工程施工环境复杂多样,需采取针对性技术优化措施。在山区施工,场地狭窄、地形起伏大,选用小型、灵活的施工设备,如小型履带式挖掘机、便携式钻孔机等,便于在有限空间内作业。针对岩石破碎、节理裂隙发育的情况,采用静态破碎、液压劈裂等非爆破技术,减少对周边岩体的扰动。在严寒地区冬季施工时对混凝土原材料进行加热,采用蓄热法、暖棚法等养护方式,确保混凝土强度正常增长<sup>[4]</sup>。对土体采取保温措施,如覆盖保温被、铺设草帘等防止土体冻胀破坏支护结构。在高温高湿地区,搭建遮阳棚、通风设施,降低施工现场温度与湿度。对施工材料进行妥善保管设置防潮仓库,存放水泥、外加剂等易受潮材料。对机械设备定期进行维护保养涂抹防锈油防止生锈损坏(如图二所示)。临近既有建筑物或地下管线施工时,采用信息化施工技术,实时监测周边建筑物和管线的变形情况,根据监测结果及时调整施工参数确保周边环境安全。



图二 机械防锈

#### （四）地质与水文条件适应性技术优化

地质与水文条件的不确定性是水利工程深基坑施工的重大挑战，需全方位强化适应性技术。地质勘察阶段，加大勘察投入，增加钻孔数量与深度，综合运用钻探、地质雷达、声波测试等多种手段，全面准确获取地质信息。针对可能存在的软弱夹层、溶洞等不良地质体，提前制定详细处理预案。施工中若遭遇未探明的地质异常，立即暂停施工利用地质雷达进行加密探测，结合超前钻探，进一步确定异常范围与性质。对于软弱夹层采用高压旋喷注浆技术，通过向夹层注入高强度浆液提高土体强度与稳定性。针对溶洞，依据其大小、位置及填充情况，采取混凝土填充、钢护筒穿越等处理措施。针对水文条件变化构建地下水位自动监测系统，实时掌握水位动态。当水位上升可能威胁基坑安全时，及时启动备用排水设备，加大排水量；水位下降过快时，通过回灌井进行回灌维持水位稳定。对于腐蚀性地下水，选用耐腐蚀性强的支护材料，如含钼不锈钢支撑或在混凝土中添加抗腐蚀外加剂，并在支护结构表面涂抹防腐涂层增强结构耐久性。此外，在设计阶段充分考虑地质与水文条件耦合作用，运用数值模拟软件，分析地下水渗流对土体力学特性的影响，优化支护结构设计。

#### （五）安全风险管控技术的优化

安全风险管控是水利工程深基坑施工的重中之重。建立健全安全管理制度，明确各部门和人员的安全职责，实行安全目标责任制，将安全责任层层落实到个人。加强安全监督检查，定期开展安全隐患排查，每周至少进行一次全面检查，对发现的安全隐患建立台账明确整改责任人与整改期限，确保隐患及时消除<sup>[5]</sup>。对于高处作业，设置牢固的临边防护栏杆，高度不低于1.05米，横杆间距不大于0.5米，并挂设安全网。为施工人员配备合格的安全带，要求其在高处作业时必须系挂安全带。土方开挖严格按照施工方案进行分层分段开挖，每层开挖深度不超过规定值，严禁超挖、乱挖。在深基

坑内设置良好的通风系统，采用轴流风机、风管等设备，确保空气流通。定期检测有害气体浓度，配备气体检测仪，每2小时检测一次，若有害气体超标，立即停止作业，进行通风换气。加强施工用电管理，对电气设备进行定期检查和维修，确保接地接零可靠电线无破损老化。对大型机械设备，操作人员必须持证上岗定期对设备进行保养和检修，在设备运行过程中设置警示区域，防止碰撞事故发生。针对交叉作业制定详细的协调作业方案，明确各工种的作业时间和空间避免相互干扰。同时，加强对施工人员的安全教育培训，定期组织安全知识讲座、安全技能培训，每月至少进行一次提高其安全意识和操作技能。定期组织安全演练，如火灾逃生演练、坍塌事故应急演练等，每季度至少进行一次，提高应对突发安全事故的能力。

#### 结论

综上所述，水利工程深基坑开挖与支护面临诸多复杂挑战。基坑稳定性受土体特性、应力重分布、降水及周边荷载等影响；支护结构设计选型需兼顾地质、经济、工期、耐久性与环境协调；施工环境多样，从山区到严寒、高温高湿地区各有难题；地质与水文条件不确定性增加施工风险；安全风险管控贯穿施工全程。针对这些问题，通过采取优化基坑稳定性措施，如精准勘察、合理开挖、实时监测等；优化支护结构设计，利用模拟技术并注重耐久性；提升施工环境适应性，采用针对性设备与技术；增强对地质与水文条件的应对能力，完善勘察与预案；强化安全风险管控，健全制度与加强培训演练等，能有效提升水利工程深基坑施工的安全性与可靠性。未来，需持续关注这些关键问题不断探索创新，进一步推动水利工程深基坑开挖与支护技术的发展以保障水利工程的高质量建设。

#### 参考文献

- [1] 白栋良. 某水利工程基坑开挖施工技术分析[J]. 河南水利与南水北调, 2023, 52(04): 53-54.
- [2] 刘海. 水利工程深基坑支护施工技术[J]. 河北水利, 2023, (10): 43-44.
- [3] 陈政. 复杂地质条件下水利工程高水位深基坑降排水施工方法研究[J]. 甘肃科学学报, 2024, 36(03): 100-106.
- [4] 陈志春. 水利工程建筑深基坑钢管桩支护施工技术[J]. 工程技术研究, 2024, 9(18): 52-54.
- [5] 李建勋. 水利工程深基坑施工质量的控制措施[J]. 产品可靠性报告, 2023, (09): 101-102.

作者简介：魏健（1986-11），男，汉族，安徽合肥人，水利水电工程师，大专学历，研究方向：水利水电工程。