

水利工程深基坑支护施工技术与质量控制研究

肖明高

重庆永渝检验检测技术有限公司 重庆 400000

【摘要】：水利工程深基坑支护施工是工程安全与质量的核心保障，当前施工中普遍存在支护技术适配性不足问题，具体表现为选型与工况不匹配、材料性能不达标、结构设计未适配工程特性。本文结合水利工程深基坑水文地质特殊工况，针对性提出优化支护技术选型、全流程管控材料性能、完善结构设计等可落地的解决方法，通过明确施工标准、细化操作流程，解决支护技术适配性不足的痛点，提升深基坑支护施工质量与安全性，为水利工程深基坑支护施工提供实践参考，保障工程长效稳定运行。

【关键词】：水利工程；深基坑支护；技术适配性

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.031

引言

随着我国水利工程向深部、复杂工况延伸，深基坑开挖深度不断增加，且多处于江河沿岸、地下水位高、土层渗透性强的区域，支护施工的专业性和适配性成为制约工程质量的关键^[1]。当前，深基坑支护施工技术适配性不足问题突出，严重影响基坑稳定性和施工安全，埋下坍塌、渗水等隐患。基于此，本文聚焦支护技术适配性不足的核心痛点，分析其具体表现，提出针对性解决方法，旨在完善水利工程深基坑支护施工技术与质量控制体系，为工程施工提供理论与实践支撑，推动水利工程高质量发展^[2]。

1 水利工程深基坑支护施工相关背景

水利工程深基坑支护施工是水利枢纽、引水工程等核心构筑物建设的关键工序，直接关系到工程主体结构安全、施工进度及周边水文地质环境稳定。当前，我国水利工程建设向深部、复杂工况延伸，深基坑开挖深度不断增加，且多处于江河沿岸、地下水位较高、土层渗透性强的区域，对支护施工的专业性和针对性提出了更高要求^[3]。相较于普通建筑深基坑，水利工程深基坑受水文条件、季节性降水、水体渗透等因素影响更为显著，支护施工的适配性、质量管控的有效性直接决定工程能否抵御基坑坍塌、渗水等安全风险。结合行业实际施工现状，深基坑支护施工的技术适配与质量管控已成为制约水利工程施工安全与工程质量的核心环节，亟需基于实际施工细节完善相关技术与管控措施，为水利工程长效稳定运行奠定基础。

2 深基坑支护施工技术适配性不足

2.1 支护技术选型与水利基坑工况不匹配

水利工程深基坑工况具有显著的特殊性，与普通建筑深基坑相比，其多位于江河、湖泊等水域周边，土层多为淤泥质土、粉质黏土，地下水位高且波动频繁，同时受季节性降水、水体渗透、水流冲刷等因素影响，对支护技术的适配性要求更为严苛。但实际施工中，部分施工单位未结合水利基坑的具体工况

开展针对性选型，盲目沿用普通建筑深基坑的支护技术，未充分考量基坑开挖深度、土层承载力、地下水位变化规律及周边水体影响等核心因素。例如，在地下水位较高、土层渗透性强的水利基坑中，未选用排桩+止水帷幕结合的支护技术，反而采用单一的土钉墙支护，导致支护结构无法有效阻挡地下水渗透，出现基坑侧壁渗水、土层软化等问题；部分深基坑开挖深度超过10米，且处于软土区域，却未选用刚度较强的钢板桩、地下连续墙等支护形式，沿用浅基坑常用的喷锚支护，导致支护结构变形过大，无法抵御土层侧压力，严重影响基坑施工安全。此外，部分施工单位在选型过程中，未开展详细的现场勘察，对基坑周边水文地质条件、周边构筑物分布等情况掌握不全面，仅依据经验选型，进一步加剧了支护技术与水利基坑工况的不匹配程度，为后续施工埋下安全与质量隐患^[4]。

2.2 支护材料性能不符合基坑施工要求

支护材料是保障深基坑支护效果的基础，其性能直接决定支护结构的承载能力、抗渗性及耐久性，而水利工程深基坑的特殊工况，对支护材料的性能提出了更高要求，需同时满足抗渗、抗腐蚀、抗冲刷、强度达标等多重条件。但实际施工中，部分施工单位为控制成本、加快施工进度，选用性能不达标的支护材料，严重影响支护技术的适配性。在钢材选用方面，未选用符合水利工程标准的耐腐蚀性钢材，部分钢材存在锈蚀、截面尺寸偏差等问题，用于支护桩、锚杆等关键部位时，无法承受基坑土层侧压力，易出现钢材断裂、变形等情况；在混凝土选用方面，未根据基坑水文条件选用抗渗等级适配的混凝土，部分混凝土配合比不合理，浇筑后出现蜂窝、麻面、裂缝等缺陷，抗渗性能不足，无法阻挡地下水渗透，导致基坑内部积水，软化周边土层，进一步降低支护结构的稳定性。此外，止水材料选用不当也是突出问题，部分施工单位选用的止水带、密封膏等材料，耐水性、耐久性不足，长期处于地下水浸泡环境中易老化、破损，失去止水效果，加剧基坑渗水隐患，使得支护技术无法充分发挥作用，进一步凸显支护技术适配性

不足的问题^[5]。

2.3 支护结构设计未适配水利工程特性

水利工程深基坑支护结构设计,需充分结合水利工程的特殊性,兼顾地下水位波动、水体渗透、水流冲刷等因素,确保设计方案与工程实际工况高度适配。但当前部分支护结构设计过程中,设计人员未充分考虑水利工程的独特特性,照搬普通建筑深基坑的设计模式,缺乏针对性设计,导致支护结构与工程实际需求脱节,支护技术适配性不足。在设计过程中,部分设计人员未开展详细的现场水文地质勘察,对地下水位变化幅度、土层渗透性、周边水体分布等关键参数掌握不精准,设计的支护结构埋深、截面尺寸、支撑间距等不合理,无法适配水利基坑的复杂工况。例如,在沿江水利基坑设计中,未充分考虑江水涨落对基坑侧壁的冲刷作用,设计的支护结构防护强度不足,易受水流冲击导致变形;部分设计方案未设置合理的止水帷幕,或止水帷幕设计深度不足,无法有效阻断地下水补给,导致基坑内部渗水严重,影响支护结构稳定性。同时,设计过程中未充分考量水利工程施工的季节性特点,对雨季、汛期等特殊时段的支护需求考虑不足,设计方案缺乏灵活性,无法应对施工过程中的工况变化,进一步降低了支护技术的适配性,影响深基坑支护施工质量与安全。

3 水利工程深基坑支护施工技术与质量控制解决方法

3.1 优化支护技术选型适配水利基坑工况

优化支护技术选型需以水利基坑现场勘察数据为根本依据,全程遵循“工况适配、安全可控、经济合理”的原则,每一步操作均落实具体标准,确保选型精准可落地。施工前,必须组织具备水利工程勘察资质的专业团队,开展为期3-5天的现场详细勘察,采用钻探与物探相结合的方式,重点采集基坑开挖深度、土层分布及厚度、土层承载力等核心参数,同步记录基坑周边构筑物、地下管线分布情况,形成完整勘察报告,杜绝仅凭经验选型。针对地下水位高、土层渗透性强的基坑,优先选用排桩+高压旋喷止水帷幕组合支护技术,排桩选用钢筋混凝土钻孔灌注桩,桩径严格控制在800-1000mm,桩间距按1.2-1.5m均匀布设,桩身采用C30抗渗混凝土浇筑,浇筑过程中控制导管埋深在2-6m,避免出现断桩、夹泥等缺陷;高压旋喷止水帷幕采用三重管法施工,喷射压力控制在20-25MPa,提升速度为10-15cm/min,旋喷桩直径不小于600mm,桩长深入不透水层1.5-2.0m,确保止水效果。针对软土含量高、承载力低的基坑,采用拉森IV型钢板桩加型钢内支撑支护体系,钢板桩长度按开挖深度选配,嵌入基底以下不少于2.5m,桩体锁口拼接并涂刷止水密封胶防渗漏;内支撑选用H型钢,布设间距控制在3-4m,每道支撑成型后分级施加预压力,按设计值80%-90%分三次加载,每次稳压30分钟

以保障受力均匀。沿江滨湖受水流冲刷基坑,支护外侧增设10mm厚钢板防护挡板,高出基坑顶部0.5m、底部入土30cm,挡板螺栓连接并嵌填止水橡胶条防冲刷;基坑顶部设置不低于20cm高、30cm宽C25混凝土挡水坎,预留排水通道并设置3%-5%排水坡度,防范雨水浸泡扰动基坑,实现支护工艺与复杂工况精准适配。

3.2 提升支护材料性能满足基坑施工要求

提升支护材料性能需从采购、检验、存放、使用全流程管控,每一个环节均制定具体标准、落实可操作措施,杜绝性能不达标材料投入使用(见图1)。

材料采购阶段,建立严格的供应商筛选与准入机制,明确供应商需具备水利工程支护材料生产资质、安全生产许可证,近3年无质量投诉及不良信用记录,优先选择与水利工程有合作经验的供应商;签订采购合同时,明确材料性能指标、交货时间、质量责任及验收标准,避免模糊表述。

钢材采购方面,严格选用Q355级及以上耐腐蚀性钢材,钢筋抗拉强度不低于390MPa,屈服强度不低于355MPa,表面无锈蚀、裂纹、结疤等缺陷,进场前需提供出厂合格证、力学性能检测报告,现场抽样送检,每批次抽样数量不低于3组,检测合格后方可入库;用于锚杆、钢支撑的钢材,额外进行防腐处理,采用热镀锌工艺,镀锌层厚度不低于80 μ m,确保在地下水浸泡环境中不易锈蚀。混凝土采购方面,选用C30及以上抗渗混凝土,抗渗等级不低于P8,配合比由实验室根据基坑水文条件精准配制,水泥选用42.5级普通硅酸盐水泥,砂选用中砂,含泥量不大于3%,石子选用碎石,粒径控制在5-31.5mm,含泥量不大于1%,水灰比严格控制在0.55以内,砂率控制在35%-40%,确保混凝土抗渗、抗压性能达标;混凝土运输采用专用罐车,运输时间不超过2h,运输过程中保持搅拌状态,避免离析,到场后现场检测坍落度,控制在120-140mm,不合格混凝土一律严禁使用。

止水材料选用方面,优先选用天然橡胶止水带,厚度不低于5mm,拉伸强度不低于15MPa,断裂伸长率不小于300%,止水带表面无气泡、裂纹、破损等缺陷,进场后抽样送检,检测合格后分类存放;密封胶选用聚氨酯密封胶,固化时间控制在24-48h,固化后拉伸强度不低于1.5MPa,确保止水效果。材料存放阶段,搭建专用防雨、防潮、防晒仓库,钢材存放时垫高30cm以上,分类摆放,做好标识,定期检查,避免锈蚀;混凝土原材料分类堆放,水泥存放于干燥通风仓库,保质期不超过3个月,过期水泥严禁使用;止水材料存放于阴凉干燥处,避免阳光直射、高温暴晒,防止老化。材料使用过程中,安排专人全程管控,严格按照施工规范取用,杜绝违规使用性能不达标材料,确保每一批次、每一种材料均满足水利基坑施工要求。



图1 水利基坑支护材料全流程质量管控流程图

3.3 完善支护结构设计适配水利工程特性

完善支护结构设计需紧密结合水利工程特殊性,立足现场工况,落实具体设计优化措施,确保设计方案可落地、可操作,彻底解决设计与工程特性不适配的问题(见图2)。

设计前,设计人员需深入现场踏勘,结合勘察报告,明确地下水水位波动规律、土层渗透性、水流冲刷影响、季节性施工要求等核心因素,杜绝照搬普通建筑基坑设计模式。针对地下水水位波动频繁的特点,优化支护结构埋深设计,止水帷幕深度深入不透水层1.5-2.0m,采用双道止水设计,第一道为高压旋喷止水帷幕,第二道为橡胶止水带,两道止水结构间距控制在0.8-1.0m,止水带安装于支护桩与基坑侧壁之间,固定牢固,避免移位,确保有效阻断地下水渗透。针对软土地层基坑,优化支护桩截面设计,钻孔灌注桩截面直径根据基坑侧压力计算确定,最小不小于800mm,桩身配筋率控制在0.8%-1.2%,纵向钢筋选用HRB400E级,直径不小于16mm,箍筋选用HPB300级,间距控制在150-200mm,桩底嵌入硬土层不少于1.0m,增强桩体承载能力和抗变形能力。

内支撑结构设计方面,根据基坑开挖深度、土层侧压力,合理确定支撑层数和间距,基坑开挖深度超过10m时,设置不少于2道内支撑,支撑间距控制在3-4m,支撑采用型钢支撑,选用H型钢,支撑与支护桩连接处增设加强板,加强板厚度不低于12mm,采用满焊连接,焊缝高度不小于8mm,确保连接牢固。同时,结合水利工程季节性施工特点,在设计中预留雨季、汛期施工调整空间,支护结构顶部增设排水槽,槽宽200mm、深150mm,间距5m设置一个排水口,排水口

参考文献:

- [1] 张良群,梁骏宇.水利施工中深基坑支护与降水联合施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2026,(05):85-87.
- [2] 孟博霞.复杂地质条件下水利工程深基坑复合支护施工技术[J].河南水利与南水北调,2025,54(09):40-41.
- [3] 孔令伟.深基坑支护技术在水利工程施工中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(19):125-127.
- [4] 崔钊.深基坑支护施工技术在土建施工中的应用[J].建材发展导向,2024,22(23):123-126.
- [5] 刘海.水利工程深基坑支护施工技术[J].河北水利,2023,(10):43-44.

连接排水管道,及时排出雨水;沿江基坑设计中,增设抗冲刷防护结构,在支护结构外侧铺设厚度50mm的钢丝网片,再喷射C20混凝土,喷射厚度不低于100mm,增强支护结构抗冲刷能力。

设计完成后,组织施工、监理、设计三方联合审核,重点核查设计参数与现场工况的适配性,对不合理之处及时调整,审核通过后出具正式设计图纸,明确施工工艺和质量标准,确保设计方案贴合水利工程特性,为现场施工提供精准指导。

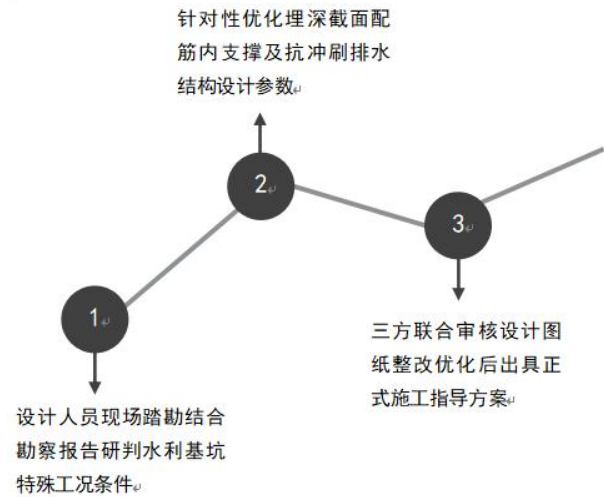


图2 水利深基坑支护结构设计优化完善流程图

4 结语

本文针对水利工程深基坑支护施工技术适配性不足的问题展开研究,梳理出支护技术选型、材料性能管控、结构设计优化三大核心要点,并提出切实可行的解决对策。研究证实,将支护工艺、材料标准与结构设计同基坑实际工况精准匹配,可显著提升施工质量与整体安全系数。研究成果可为同类水利深基坑工程施工提供参考借鉴,后续可依托实际工程案例持续完善技术措施,稳步提升支护施工技术水准,保障水利工程建设安全平稳推进。为水利深基坑规范化施工筑牢技术支撑,夯实工程长效安全运行根基。