

钻孔灌注桩在水利水电工程 施工中的应用探讨

田陈仁

(江苏中设集团股份有限公司, 江苏 无锡 214062)

摘 要 钻孔灌注桩依托其高承载力及强适应性, 已成为水利水电工程地基处理的核心手段。本文针对钻孔灌注桩在水利水电工程施工中的应用展开探讨, 分析其在水利水电工程中的价值及特点, 理清施工准备及相关具体流程, 重点分析地质适应性的调整、施工设备的协同调度、泥浆性能的动态调控、钢筋笼质量的保障、混凝土灌注连续性的控制、施工环境的协调、质量验收与缺陷的补救等应用策略, 以期为相关工程实践提供参考。

关键词 钻孔灌注桩; 水利水电工程施工; 地质适应性; 施工设备; 泥浆性能

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.28.019

0 引言

水利水电工程频繁面临库区深厚覆盖层、高地震烈度区地基处理相关难题, 对基础结构承载力与抗渗性提出了严格的要求。钻孔灌注桩凭借可穿过复杂地层、单桩承载力较高及施工扰动小等优点, 在大坝防渗墙加固、泵站基础施工、闸墩支承等方面得到普遍应用。目前的实际践行阶段, 水利工程特有的水流冲刷、泥砂地质条件, 对成孔稳定性、钢筋笼抵抗腐蚀的能力及混凝土水下灌注质量构成特殊挑战, 传统施工工艺急需优化升级。探究其关键技术核心与质量控制渠道对增进桩基工程可靠性具有重要意义。

1 水利水电工程中钻孔灌注桩的价值及特点

钻孔灌注桩作为水利水电工程中的关键基础施工技术, 其应用价值体现在能适应复杂地质条件以及保障工程结构的稳定性上。与其他基础形式对比, 该技术在黏性土、砂土、岩层等各类地层中能稳定开展施工, 依靠桩体与地基的协同配合, 有效提升水利水电构筑物抗滑与抗倾覆的能力, 尤其适宜对坝体、闸室、防渗墙等核心部位的基础进行加固。

从技术方面的特点来看, 钻孔灌注桩采用无挤土的施工途径, 可降低对周边土壤的扰动, 防止诱发地面沉降和边坡失稳现象, 这在临近水源、堤坝等敏感区域的施工中尤为关键。桩体的成型过程依靠泥浆护壁或套管防护得以实现, 可有力控制孔壁坍塌的概率, 采用水下混凝土灌注工艺可保障桩体完整性, 符合水利工程对基础防渗与承重的双重需求。此技术能根据工程荷载的需要, 灵活变动桩径、桩长及布置形式,

既考虑经济性, 又考虑安全性, 为水利水电工程的长久平稳运行提供基础。

2 钻孔灌注桩在水利水电工程中的施工准备及流程

2.1 施工准备

钻孔灌注桩作为一种基础施工技术, 施工时先进行钻孔作业, 再往孔内注入钢筋混凝土混合材料, 建成达到强度和刚度要求的桩体, 以此提升地基的承载能力与抗震性能, 要核查施工图纸和设计方案, 编制校对施工方案和桩基灌注实施规划; 不允许在施工区域堆放杂物, 让施工能顺利进行, 并且设置必要的车辆引导标识, 方便车辆通行和物资安置; 还要查看钻孔、灌注、搅拌及导管系统等设备的运行状态, 确保设备状态良好。为保障施工人员与现场作业的安全, 施工区域应放置必要的安全防护用具, 作业人员要完成钻孔灌注技术培训, 掌握工艺准则、操作程序和安全预防内容, 达成作业熟练和安全施工的目标, 同时要制定周全的施工安全预案, 针对机械故障、建材缺陷等潜在风险准备应急处置方案, 实现紧急情况的快速处理^[1]。

2.2 施工流程

如今水利水电工程大量应用钻孔灌注桩工艺, 施工程序可划分为场地筹备阶段、钻孔作业流程、清孔处理过程、混凝土灌注步骤与桩头修复环节, 施工中应重点掌控钻孔的成型质量, 把握好混凝土搅拌这一流程, 钻孔灌注桩施工工艺按以下次序进行。

1. 前期准备: 施工准备、测量放样; 护筒制作与准备, 同步开展钻机准备(含钻机就位、校正)搭设钻机平台、埋设护筒。

2. 钻孔及初检：启动钻孔作业，钻孔深度需满足要求（不满足则调整，满足则进入下一步）深度达标后，进行清孔及检查，检查内容含坐标位置、垂直度、孔底标高、孔底地质描述，同步填写检查记录。

3. 钢筋笼与导管作业：开展钢筋笼制作及安装（需吊车就位，且导管试拼、检查后，同步进行安装钢筋笼、安放导管）完成后，执行二次清孔。

4. 混凝土灌注及成桩：平台、漏斗准备；混凝土拌和运输准备（需制作混凝土试块，用于后续强度测评）搭设灌注平台、安放料斗，随后灌注水下混凝土，同步记录灌注过程，最终成桩，后续依据试块开展混凝土强度测评。

整个流程围绕钻孔灌注桩施工，从前期筹备、钻孔控制，到钢筋笼与导管安装、混凝土灌注，各环节衔接推进，保障成桩质量。

3 钻孔灌注桩在水利水电工程施工中的应用策略

3.1 地质适应性调整

地质情形是影响钻孔灌注桩施工效果的核心要点，应依照水利水电工程所在地区的地层特性开展针对性调整^[2]。就黏性土地层而言，要留意控制钻进速度以及泥浆的黏度，防止因黏滞力太大造成钻渣排出不顺利，可通过适当提高泥浆循环速度增强携渣能力，同时在清孔阶段把循环时间拉长，保证孔壁泥皮的厚度均匀一致。若面对砂土层，主要强化泥浆护壁功效，依靠增加泥浆密度形成有效的压力平衡，预防孔壁倒塌，钻进期间维持连续作业，减少停钻时间，进而降低砂粒沉淀风险。处于岩层分布的区域，应选用匹配的耐磨钻头，对钻进压力与转速做出调整，杜绝钻头出现过度磨损，通过定期检查钻头状态保证成孔直径符合设计要求。针对复杂地层交替现身的情形，应实时动态切换施工参数，在不同地层的交界处降低钻进速度，逐步过渡以便维持孔壁稳定，保证桩体可以契合多变地质环境下的受力需求。

3.2 施工设备协同调度

在水利水电工程钻孔灌注桩中，施工设备的协同调度直接决定了钻孔灌注桩施工效率与质量，应构建系统的设备管理机制。按照工程规模以及桩位分布情况，合理配置钻机、吊车、混凝土搅拌设备等，明确各设备的作业范围和衔接点，杜绝设备闲置或者工序脱节。钻机就位前需对场地进行硬化与找平处理，保障机身平稳，同时预留出吊车作业的空间，便于开展钢筋笼吊装以及导管安装事宜。混凝土搅拌设备需与灌注进度相协同，依照灌注速度调整搅拌频次，保证

混凝土供应连贯不断，杜绝因材料短缺引发灌注中断。设备维护需要制定日常检查清单，主要留意钻机钻杆垂直度、导管密封效果及搅拌设备计量精度，及时更换磨损部件，杜绝因设备故障而影响施工质量。通过建立设备调度台账，实时监控各设备的运行状态，按照施工进度实时变更作业计划，实现设备资源的高效充分利用。

3.3 泥浆性能动态调控

在水利水电工程中，实现泥浆性能的动态调控是保障成孔质量的关键，需根据施工阶段和地层变化实施精细化管控。成孔初始时期需加大泥浆黏度与密度，迅速生成孔壁泥膜，预防表层的松散土层出现坍塌事故；随着钻孔不断向深处延伸，慢慢调整泥浆的参数值，在稳定地层恰当降低密度，以减小钻进的阻力，在复杂地层则加大泥浆黏度以提升护壁作用。清孔时要分阶段对泥浆性能进行调整，初次清孔时维持较高的循环速率，以稀释泥浆的方式排出大部分钻渣；二次清孔的时候把泥浆密度与黏度降低，为混凝土灌注创造有利局面，同时要保证孔底的沉渣被彻底清除完毕。施工阶段要建立泥浆性能的监测体系，定时检测黏度、密度、含砂率等参数，依照监测结果及时添加黏土、纯碱等调节剂，保证泥浆性能一直与施工需求相一致，为成孔过程提供持续稳定的护壁与携渣保障。

3.4 钢筋笼质量保障

在水利水电工程钻孔灌注桩中，钢筋笼的质量直接关乎桩体的结构强度，必须对从材料选定到安装固定的全程开展严格管控。钢筋材料进场前需进行性能方面的检测，保证强度、韧性等指标符合设计规格，防止采用有锈蚀、弯曲等缺陷的材料。制作阶段需采用标准化的加工工艺，做到主筋间距均匀、箍筋绑扎结实，焊接接头需对其进行外观检查与力学性能测试，防止因焊接质量不合格影响整体强度。钢筋笼成型完毕后要进行整体刚度的检查，如果超长钢筋笼采用分段制作的话，要保证拼接处的连接强度，拼接好以后开展垂直度的校正，防止在吊装过程中出现变形^[3]。开展安装工作时采用专用吊装工具，根据钢筋笼重量及长度选择合适的吊点，保障起吊处于平稳状态，下放期间密切留意孔内情形，若碰到阻碍，要停止操作并排查缘由，杜绝强行下放引发钢筋笼变形或孔壁塌陷，最后保证钢筋笼精准就位，与孔壁维持设计好的间距^[4]。

3.5 混凝土灌注连续性控制

在水利水电工程钻孔灌注桩中，混凝土灌注的连续性是杜绝断桩、缩径等缺陷的核心保证，要从材料

供应到灌注操作形成全流程管控模式^[5]。混凝土搅拌前需确认配合比以及原材料质量,进行搅拌时严格控制水灰比与搅拌的时间,保证混凝土和易性契合要求,运输期间采用保温或者防晒措施,防止因环境温度变动影响混凝土性能。灌注之前需查验导管连接密封性及下放深度,保证首批混凝土能顺利开展封底工作。灌注操作中安排专人实时测量混凝土面的高度值,依照上升速度调整导管提升的节奏,保证导管埋深处在恰当的范围,防止因埋深过浅让泥浆混入混凝土内,或埋深过深造成导管难以拔出。制定混凝土供应应急机制,准备好备用的搅拌设备和运输车辆,应对突发故障引起的供应中断局面,同时制定针对灌注中断的应急预案,若有短暂中断现象需及时让导管上下活动,预防混凝土初凝造成导管堵塞。通过全方位管控保障灌注过程连贯无间断,构建完整密实的桩体结构。

3.6 施工环境协调

水利水电钻孔灌注桩工程往往处在复杂的周边环境,需运用针对性措施协调施工与周边环境的联系。就临近水源的施工范围而言,需搭建泥浆循环处理系统,防止泥浆溢出污染水体,清孔排出的废弃泥浆需进行固化处理后才能运输,防止随便排放导致环境污染。在施工区域周边装设隔音屏障,降低钻机、吊车等设备作业期间的噪声,合理安排施工时段,杜绝夜间施工对周边居民与生态环境的干扰。就存在地下管线或构筑物的区域而言,施工前要进行详细的勘察,查明其位置以及深度,对桩位进行调整或采用套管护壁类工艺,杜绝施工过程中造成的损坏。雨季施工期间需增强场地排水及设备防护,建造防雨棚保护混凝土材料,雨后需再度检查钻机垂直度以及泥浆性能,保证施工条件达到要求,采用环境协调措施实现工程建设与生态保护的平衡^[6]。

3.7 质量验收与缺陷补救

质量验收是保障桩体性能达标的最后一个阶段,应搭建严格的检测标准及缺陷处理体系。成桩完毕后需按规范进行完整性检测,借助声波透射法或低应变法检查桩体是否存在断桩、空洞之类的缺陷,对关键部位的桩体进行承载力检测,核实其承载能力是否与设计要求相符。检测时一旦发现缺陷,应按照缺陷的类型与位置确定针对性的补救方案,当存在浅层缺陷时,可采用开挖修复的做法,消除缺陷部位后接着重新浇筑混凝土;针对深层缺陷,可采用高压注浆技术,经由注浆管将水泥浆灌入缺陷区域,填充间隙进而增强桩体强度。验收时必须详细记录检测数据与处理的

相关结果,构建全面的质量档案,为后续工程的验收及运营维护提供相关依据,通过严格的验收及补救措施,保障每根桩体都能符合水利水电工程安全运行的标准。

3.8 人员技能与安全保障

钻孔灌注桩施工技术专业性强、风险点较多,人员的专业水平与安全意识是施工成败的基础保证,必须强化针对关键岗位人员的技能培训与考核,保证钻机操作、钢筋笼制作与吊装、混凝土灌注、设备检修等核心工序由经验丰富、有证上岗的人员完成,尤其要熟练精通地层识别、参数修改、应急处突等核心技能。应建立一套健全的安全管理体系,切实落实现场安全技术交底,识别高坠、机械伤害、物体打击、触电、孔壁坍塌等主要风险源头,制定针对性防护措施;严格监督现场人员正确佩戴安全防护用品,划定安全警戒地段,对泥浆池、成孔孔口采取有效的围挡覆盖办法;构建设备检查及作业许可制度,依照周期开展应急演练,保证施工全过程始终可控,防止安全事故发生。

4 结束语

钻孔灌注桩在水利水电工程中的应用成效极为显著。该技术的核心是地质适应性调整、施工设备协同调度、泥浆性能动态调控、钢筋笼质量保障、混凝土灌注连续性控制、施工环境协调及质量验收与缺陷补救。未来的研究工作需结合智能监测技术,如声波透孔检测、实时沉渣监测,确立动态质量控制模型,进一步推进地质自适应钻进设备、自密实混凝土材料在复杂水文地质环境下的应用,促进水利工程桩基施工朝着高效、标准、智能方向发展,为高坝大库等国家重大水电工程筑牢地基安全底线。

参考文献:

- [1] 王巍,王宇,李辉,等.架空高压线下钻孔灌注桩安全快速施工方法[J].云南水力发电,2022,38(05):125-127.
- [2] 何鹏.钻孔灌注桩砼灌面标高定位及自动化分层研究[D].成都:成都理工大学,2021.
- [3] 何文彬.钻孔灌注桩在水闸工程基础处理中的应用[J].湖南水利水电,2021(02):103-105,115.
- [4] 许静诗.钻孔灌注桩工艺在水利工程中的应用研究[J].建设机械技术与管理,2025,38(01):160-162.
- [5] 王云,王大伟.浅谈水利工程钻孔灌注桩施工监理控制措施[J].治淮,2025(02):55-56.
- [6] 宋悦豪.钻孔灌注桩护岸在水利工程中的设计与应用[J].江苏水利,2025(02):61-64.