

钻孔灌注桩技术在建筑工程施工中的应用探讨

程 棚

上海城建市政工程(集团)有限公司 上海 200000

【摘要】：随着城市地下空间开发强度的不断提升，建筑工程基础形式正逐渐向适应复杂环境的高可靠性结构转变。尤其在轨道交通与地下连通工程交织的城市核心区域，基础施工不仅需要满足结构承载需求，还需兼顾周边既有建筑与地下设施的安全性，这对桩基施工技术提出了更高要求。本文以城市软土地区地下连通工程为背景，围绕钻孔灌注桩施工过程中的关键技术展开研究，通过分析工程地质与水文条件，构建系统化施工工艺流程，并从成孔控制、泥浆管理、结构安装及混凝土灌注等方面提出优化方法，同时结合现场检测手段对桩基质量进行验证。研究表明，通过全过程精细化控制与针对性技术措施的实施，能够有效提升钻孔灌注桩施工的稳定性和成桩质量，为复杂地质条件下桩基工程提供技术参考。

【关键词】：钻孔灌注桩技术；建筑工程；施工技术；应用探究

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.099

前言

钻孔灌注桩因其适应性强、承载能力高及对环境扰动相对较小，已成为此类工程中应用最为广泛的基础形式之一。然而，在滨海平原地区，地基土普遍具有高含水量、低强度及强压缩性等特征，同时浅层地下水埋深较小且波动明显，使得钻孔过程中孔壁稳定性、泥浆控制及混凝土灌注质量均面临较大挑战^[1]。以上海浦东新区为代表的典型软土地区，地层结构复杂，由粉质黏土、淤泥质土及砂性土交互分布构成，不同土层力学性质差异显著。在这种情况下，钻孔灌注桩施工常常会表现出明显的不确定性，成孔易坍塌、沉渣难以控制、钢筋笼定位偏差、混凝土离析等问题都会对桩基承载性能产生直接影响。本文以实际工程为依托，对钻孔灌注桩施工技术进行梳理和优化分析，不仅可以明确各个施工环节之间的内在逻辑关系，还可以从工艺流程和技术控制的角度提出更加有针对性的改进路径，为类似复杂条件下桩基施工提供实践参考。

1 工程概述

本工程位于上海市浦东新区，处于轨道交通与地下空间连通工程交汇处，周边环境复杂，临近既有地下结构，施工空间狭小。场地地貌类型为典型的滨海平原，地基土由粉质黏土、淤泥质黏土、砂性土等多层组成，淤泥质土层含水量大于40%，抗剪强度低，在扰动下容易产生流变变形^[2]。从水文条件来说，浅层地下水为潜水类型，水位埋深波动在0.3~2.2m之间，受降雨和潮汐影响较大；深部有微承压含水层，埋深约3.0~

11.0m。虽然计算得出基坑开挖过程中不会出现突涌，但是高水位环境对钻孔稳定和泥浆性能有更高的要求。在此基础上，工程共布置 $\Phi 600\text{mm}$ 钻孔灌注桩49根，桩长20~29m，主要起抗拔和结构连接作用。该桩型布置要求桩体完整性高，桩端持力层嵌固深度及侧摩阻发挥严格要求。

2 钻孔灌注桩施工工艺流程

2.1 场地处理与设备进场

施工流程从场地条件的形成开始。本工程位于既有商业体和轨道交通结构之间，施工场地受限，存在绿化和人行道路等地表设施，因此施工前需要对场地进行清理和硬化处理，保证GPS-10钻机和吊装设备的稳定运行。场地平整时重点控制地面承载力，防止设备作业时出现沉陷或者倾斜。同时根据桩基布置情况设置施工便道、泥浆循环区，使泥浆池、沉淀池、钻机形成合理的空间布局^[3]。设备进场后要要进行性能检查和试运转，保证钻机、泥浆泵、导管系统工作正常。本工程投入1台钻机分序施工，合理安排施工顺序，防止桩间距小于4倍桩径相互扰动。本阶段的主要任务就是创造一个稳定的施工环境，为后面工序提供可靠的基础条件。

2.2 桩位放样与护筒施工

完成场地准备之后，进入桩位控制和初始结构构建阶段。根据设计图纸及坐标控制点，采用导线测量和三角测量相结合的方法进行桩位放样，监理复核确认后方可实施。

考虑到施工过程中可能产生的挤土效应,本工程采用“两次放样”制度,第一次做整体放样,第二次在钻机就位前对单桩位置进行精确校核。护筒施工是成孔的开始,护筒埋设精度影响到后面孔位的稳定性。护筒用6~8mm钢板制成,直径比桩径大20~40cm,埋设深度进入稳定土层不小于1倍护筒直径,粘土回填夯实保证周边密实。护筒中心与桩位偏差控制在20mm以内,设置溢浆口以利于泥浆循环。该阶段建立稳定的孔口边界条件,给后续钻进提供几何和力学上的双重约束。

2.3 钻进成孔与过程检测

成孔施工是整个流程的关键环节,成孔施工的节奏及参数控制会直接影响到桩孔的质量。本工程采用正循环钻进方式,在开钻前先启动泥浆循环系统,使孔内形成稳定的泥浆流动后再进行钻进^[4]。钻进过程中要根据土层特性来调节钻进速度和钻压,在粉质黏土层保持稳定推进,在砂性土层适当减小进尺速度,以减少孔壁扰动。随着钻进深度的增加,用测量平台标高和钻杆长度控制孔深,使其满足20~21m的设计要求。施工过程中对孔径、孔深、垂直度分阶段检测,成孔完成后组织现场验收,满足设计要求后方可进入下一工序。工程中设置试成孔2个,连续12小时检测孔壁稳定性,为正式施工提供参数依据。该阶段用施工、检测、反馈的流程来控制成孔质量。

2.4 清孔与结构安装衔接

成孔验收合格之后,施工流程进入孔内质量优化和结构植入阶段。初次清孔,用泥浆循环系统置换孔内泥浆,使孔底沉渣得到初步清除。钢筋笼运输、吊装,分段连接在孔口逐节拼装,缓慢下放,防止碰撞孔壁。钢筋笼安装完毕后立即进行二次清孔,用导管和泥浆泵联合操作,使孔底沉渣厚度控制在100mm以内,再次检测孔径、孔深、垂直度等指标^[5]。清孔完成后超过30分钟未进行混凝土灌注的,应重新清孔,保证孔底条件满足灌注要求。该阶段的关键是时间衔接和工序连续性,缩短工序间间隔时间,防止孔内泥浆性能变化或者沉渣堆积,保证桩端结构质量。

2.5 混凝土灌注与成桩验收

施工流程的最后阶段为水下混凝土灌注和成桩质量验收。钢筋笼安装完成后立即进行导管下放,在灌注前进行导管密封性检查。灌注时用隔水塞将泥浆和混凝土隔开,使混凝土在孔底形成连续上升的填充体。施工过程中要保证混凝土供应连续,用测量混凝土面高度来控制导管埋深在合理范围内,防止出现断桩或者夹层现象。为了保证桩头质量,灌注高度高出设计标高0.8~1.0m。成桩后进入检测与验收阶段,采用低应变检测和静载试验相结合的方法对桩身完整性及承载力进行评价,低应变检测比例不小于50%,抗拔静载试验不少于2~3根。经过这一阶段的系统检测和评价,最后形成完整的施工闭

环,实现施工到质量验证全过程的控制。

3 钻孔灌注桩施工工艺体系的优化策略

3.1 成孔参数控制

本工程 $\Phi 600$ mm钻孔灌注桩施工中,成孔质量直接影响后续工序的稳定性和桩基承载能力,所以要从设备选型和参数匹配两个方面建立控制体系。施工采用GPS-10型钻机进行正循环钻进,用泥浆泵建立稳定的循环系统,使孔内泥浆始终处于正压状态,从而达到对孔壁的支撑作用。根据场地粉质黏土、淤泥质黏土层的工程特性,在钻进过程中将泥浆比重控制在1.10~1.15g/cm³,粘度控制在18~22s,既保证了护壁效果,又不影响沉渣排出效率。钻进过程中测量钻机平台标高、实时记录钻进深度,保证桩长控制在20~21m设计范围内,试桩达到28~29m,验证持力层稳定性。同时对孔径、孔深、垂直度进行动态监测,使孔斜率控制在1%以内,从而在几何精度上构建成孔质量基础。这一阶段的核心就是实现机械参数、泥浆性能、地层响应三者之间的协同匹配,防止由于参数失配造成坍孔或者扩径。

3.2 泥浆护壁体系

滨海软土、高水位环境下,泥浆护壁是成孔稳定的关键技术,也是控制施工风险的重要手段。本工程根据地层差异采用原土造浆+膨润土调节的复合泥浆体系,在黏性土层中优先使用原土造浆,进入砂性土或夹层区域时,加入膨润土泥浆提高护壁性能。泥浆循环系统由搅拌机、沉淀池、分离设备组成,依靠连续循环来调节泥浆性能。施工时泥浆含砂率控制在8%以下,清孔后进一步降低到6%以内,保证泥浆体系不会因为含砂量过高而降低护壁效果或者影响混凝土灌注质量。与此同时孔内泥浆液面一直高于地下水位1.0~1.5m以上,在高水位波动时形成稳定的水头差,从力学角度抵消地下水对孔壁的侵蚀作用。通过该体系的建立,使泥浆由原来的辅助材料变为具有结构支撑功能的施工介质,从而大大提高复杂地层条件下成孔的安全性。

3.3 清孔与钢筋安装

钻孔施工阶段的质量控制主要包括钻孔垂直度、深度控制及泥浆性能管控。清孔和钢筋笼安装是钻孔灌注桩施工中承上启下的关键环节,清孔和钢筋笼安装质量好坏直接影响桩端承载力和结构完整性^[6]。本工程采用“两次清孔”技术路线,第一次清孔在成孔完成后进行,用正循环换浆法清除大部分沉渣;第二次清孔在钢筋笼下放完成后进行,用导管和泥浆泵联合换浆,使孔底沉渣厚度控制在100mm以内。为了保证清孔效果,在清孔过程中不断检测泥浆密度(<1.25)、含砂率(<8%)、粘度(≤28s),并用实时记录的方式实现过程可追溯。

钢筋笼制作采用分段焊接工艺,主筋连接接头比例控制在50%以内,设置加强箍和保护层垫块保证结构稳定。吊装时用25t吊机分段下放,保证钢筋笼垂直度和中心位置准确,安装误差控制在 $\pm 100\text{mm}$ 以内。该阶段用沉渣控制和结构定位两个方面的约束,使桩端接触条件和桩身结构性能都达到设计要求。

3.4 水下混凝土灌注

水下混凝土灌注是钻孔灌注桩施工的最后一步,主要保证混凝土连续性、均匀性。本工程采用导管法进行水下浇筑,导管直径为 $\Phi 258\text{mm}$,施工前做水密性试验。灌注时严格控制导管埋深在2~6m之间,保证混凝土始终在导管内形成连续流动状态,防止空气进入造成离析或者断桩。混凝土采用C35水下配合比,水泥用量不小于 $360\text{kg}/\text{m}^3$,坍落度控制在180~220mm,保证良好的流动性及自密实性。首灌阶段用隔水塞将泥浆和混凝土分开,保证首次灌注量满足导管埋深不小于1.0m的要求。整个灌注过程连续进行,用实时测量混凝土面高度和导管位置来实现灌注、测量、调整的动态控制。钻孔过程中严格控制泥浆流量与泵压,维持泥浆循环的稳定性,排浆效率通过在线流量计和压力传感器实时监控,确保孔内泥浆动态平衡,避免孔壁失稳和塌孔。

4 实施成效

4.1 成孔稳定性与几何精度显著提升

在优化成孔参数与泥浆护壁体系后,施工过程中孔壁稳定性明显改善。试成孔阶段连续12小时监测结果表明,孔径变化控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内,孔壁未出现局部坍塌现象;正式施工中49根桩全部成孔顺利,未发生塌孔或严重缩径问题。通过动态调节泥浆比重($1.10\sim 1.15\text{g}/\text{cm}^3$)与液面高程,孔内始终维持稳定正压环境,孔斜率控制在1%以内,优于常规控制值($\leq 1.5\%$)。相较未优化工艺前类似工程中约5%~8%的局部失稳概率,本工程实现成孔一次合格率100%,显著提升了施

工过程的可控性与安全性。

4.2 桩端质量与结构完整性有效改善

通过“两次清孔+快速衔接灌注”的工艺控制,孔底沉渣厚度稳定控制在80~100mm范围内,较传统单次清孔工艺(常见120~200mm)明显降低。钢筋笼安装偏差控制在 $\pm 80\text{mm}$ 以内,优于规范允许值($\pm 100\text{mm}$),桩身结构位置精度显著提高。低应变检测结果显示,桩身完整性I类桩比例达到92%以上,其余均为II类桩,无III类及缺陷桩出现;抗拔静载试验中,极限承载力较设计值提高约12%~18%。整体来看,桩端持力层接触条件更加均匀,结构受力性能得到实质性优化。

4.3 混凝土灌注连续性与成桩质量稳定性增强

在水下混凝土灌注阶段,通过控制导管埋深(2~6m)及坍落度(180~220mm),实现了混凝土连续、稳定上升。施工记录表明,全部桩基灌注过程中未出现断桩、离析或夹层现象,导管埋深波动控制在 $\pm 0.5\text{m}$ 以内。桩顶超灌高度控制在0.8~1.0m范围内,保证了桩头混凝土质量。经后期检测,桩身混凝土强度离散系数控制在8%以内,优于常规施工10%~15%的波动水平。同时,单桩平均灌注时间缩短约15%,在保证质量的前提下提升了施工效率,体现出工艺优化在质量与效率双维度上的综合效益。

5 结语

复杂滨海软土和高地下水位的环境交织在一起的城市地下工程中,钻孔灌注桩施工已经不是单一工序的线性操作,而是多要素耦合、全过程控制的系统工程。通过本工程实践可知,施工质量的形成不是依靠某一个关键技术的加强,而是测量控制、成孔稳定、结构安装、混凝土灌注等环节之间形成一个动态协调机制,使施工过程由经验驱动逐步转变为参数化、过程化管理。在此基础上,根据复杂地层、临近既有结构的约束条件,用差异化技术路径、精细化控制策略来提高桩基整体性能、施工安全水平。

参考文献:

- [1] 徐进进.浅析钻孔灌注桩技术在建筑工程施工中的应用[J].模型世界,2025(25):209-211.
- [2] 孟健,吕文建,孙志强,等.钻孔灌注桩施工技术在建筑工程中的实践[J].新潮电子,2025(15):115-117.
- [3] 王乃可,房玉焕,唐少帅,等.钻孔灌注桩施工技术在建筑工程中的实践[J].数字化用户,2025(21).
- [4] 张文杰.钻孔灌注桩施工技术问题及优化策略研究[J].智能城市应用,2025,8(2):13-15.
- [5] 校凯.复杂地质条件下高层建筑钻孔灌注桩施工关键技术[J].四川水泥,2025(6):160-162.
- [6] 夏显煌,王培银,黄喜双,等.复杂流沙地层旋挖钻孔灌注桩施工技术[J].低温建筑技术,2026,48(1):129-133.