

桩基施工技术在岩土工程中的应用策略

肖铨^{1,2}

1. 江苏省环境地质调查大队, 江苏 南京 210012

2. 江苏省地质工程勘察院有限公司, 江苏 南京 211102

DOI:10.61369/ME.2025090029

摘 要 : 桩基施工技术作为岩土工程的核心基础支撑技术, 直接决定工程结构的安全性、稳定性与耐久性。随着城市化进程加速, 高层建筑、桥梁隧道等大型基础设施项目不断涌现, 复杂岩土条件与严苛环保要求对桩基施工技术提出了更高挑战。本文系统分析桩基施工技术的核心类型与工作原理, 从地质适配选型、施工工艺优化、质量控制体系、智能化应用、环保安全保障五个维度, 构建全面的应用策略体系。研究表明, 科学的桩基施工应用策略需实现地质条件、技术特性、工程需求与环保要求的有机统一, 可为岩土工程高质量建设提供技术支撑与实践参考。

关 键 词 : 桩基施工技术; 岩土工程; 应用策略; 质量控制; 智能化施工; 环保施工

Application Strategies of Pile Foundation Construction Technology in Geotechnical Engineering

Xiao Quan^{1,2}

1. Jiangsu Provincial Environmental Geological Survey Brigade, Nanjing, Jiangsu 210012

2. Jiangsu Provincial Geological Engineering Survey Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 211102

Abstract : As a core foundational technology in geotechnical engineering, pile foundation construction techniques directly determine the safety, stability, and durability of engineering structures. With accelerated urbanization, large-scale infrastructure projects such as high-rise buildings, bridges, and tunnels continue to emerge. Complex geotechnical conditions and stringent environmental requirements pose heightened challenges to pile foundation construction technologies. This paper systematically analyzes the core types and working principles of pile foundation construction techniques. It constructs a comprehensive application strategy framework across five dimensions: geological suitability selection, construction process optimization, quality control systems, intelligent applications, and environmental safety assurance. Research indicates that a scientific application strategy for pile foundation construction must achieve an organic integration of geological conditions, technical characteristics, engineering requirements, and environmental protection demands. This framework provides technical support and practical reference for high-quality geotechnical engineering construction.

Keywords : pile foundation construction technology; geotechnical engineering; application strategy; quality control; intelligent construction; environmentally friendly construction

引言

岩土工程作为土木工程的核心分支, 承担着地基处理、基础构建等关键任务, 其施工质量直接关系到上部结构的安全与使用寿命^[1]。桩基作为岩土工程中最常用的基础形式, 通过将上部结构荷载传递至深层稳定岩土体, 有效解决了软弱地基、不良地质条件下的承载力不足问题, 在高层建筑、桥梁工程、港口码头、工业厂房等领域得到广泛应用。随着工程建设向复杂地质区域拓展, 岩溶、孤石、深厚软土等特殊岩土环境日益增多, 传统桩基施工技术已难以满足现代工程对承载能力、施工效率与环保标准的多重需求。近年来, 桩基施工技术在材料研发、设备革新、工艺优化与管理模式上取得显著突破, 低噪音施工装备、复合地基技术、智能化监测系统等创新成果逐步应用于工程实践^[2]。然而, 在实际施工中, 仍存在技术选型与地质条件不匹配、施工流程管控不规范、质量隐患防控不到位等问题, 导致桩基承载力不足、桩体完整性缺陷等质量问题, 严重影响工程安全。因此, 基于岩土工程的复杂性与特殊性, 构建科学完善的桩基施工技术应用策略, 实现技术选型精准化、施工工艺标准化、质量控制智能化、环保安全常态化, 成为当前岩土工程领域的重要研究课题。

一、桩基施工技术的核心类型与工作原理

（一）桩基技术的主要分类

桩基施工技术种类繁多，根据施工方法、材料特性与结构形式，可分为以下核心类型：

表1 桩基施工技术种类

种类	操作	优势	适用
钻孔灌注桩	通过钻机在地表钻孔，清除孔内钻渣后下放钢筋笼，再灌注混凝土形成桩体 ^[5] 。	适应性强、承载力稳定	适用于软土、砂土、岩石等各类地层，尤其在地下水位较高的地质条件下表现突出。
预制桩	通过工厂标准化生产制作桩体，再运输至施工现场通过打桩机、静压设备等沉入地基。	施工速度快、桩体质量可控，对现场环境影响较小。	适用于工期紧张、交通不便的工程项目。
复合地基桩	通过组合刚性桩与柔性桩的优势，形成协同受力体系。	有效改善地基土受力特性，减少沉降量。	适用于在深厚软土地区应用。
特殊工艺桩	贝诺特工法通过套管跟进、冲抓取土实现无泥浆作业；振动沉管桩通过振动设备使桩体下沉。	贝诺特工法可从源头上控制污染；振动沉管桩可减少对周围土体的扰动。	贝诺特工法适用于环保要求极高的敏感区域；振动沉管桩适用于砂质土层，

二、岩土工程中桩基施工技术的核心应用策略

（一）地质适配型选型策略

地质条件是桩基技术选型的核心依据，施工单位需结合详细地质勘察数据、工程荷载要求与环保标准，制定精准选型方案。

施工前，技术人员需全面复核地质勘察报告，重点分析地层分布、岩土性质、地下水位及不良地质现象等关键参数，勘察数据与实际不符时需及时补充勘察，确保地质信息准确。软土地基因承载力低、压缩性大，优先采用长短桩复合地基、劲性复合桩等复合地基桩技术或长桩基础，通过刚柔桩协同改善承载性能；砂土或粉土地层可选用振动沉管桩、螺旋钻孔桩，借助土体挤密效应提升承载力；岩石地层则适用嵌岩钻孔灌注桩，保障桩端嵌入持力层，充分发挥端承优势。

不良地质条件需针对性选型，岩溶地区采用套管跟进钻孔技术，必要时充填注浆处理溶洞；孤石区域用冲击钻破碎孤石或调整桩位；地下水位较高区域优先选择泥浆护壁钻孔灌注桩，环保要求严格时采用贝诺特工法等干作业技术。同时需兼顾工程需求与经济成本：高荷载工程选择高承载力嵌岩灌注桩或PHC桩；桥梁工程兼顾竖向承载与水平抗剪，可选钢管桩或劲性复合桩；工期紧张项目优先用预制桩缩短周期；环保敏感区域需选用低噪音、无泥浆污染的静压预制桩或干作业钻孔桩。

（二）施工工艺优化策略

施工工艺优化是提升桩基施工质量与效率的关键，需结合不同桩型与地质条件，制定标准化、精细化施工流程，聚焦各环节精准管控^[4]。

成孔工艺需按桩型与地质特性适配设备：钻孔灌注桩在软土地区采用液压履带式钻机，优化钻头减少地层扰动^[6]；硬岩地区

选用冲击钻或旋挖钻机，配备高强度钻头提升效率。施工中严格把控孔位、垂直度与孔深：开孔前以十字线定位法放样并设护桩，钻进时定期检查钻机水平度与钻杆垂直度，在软硬土层交界处放缓速度防孔斜；孔深采用设计桩底标高与持力层岩性双控，终孔前鉴别孔底岩土样确认持力层达标；孔径通过井径仪或检孔器检测，检孔器直径不小于设计桩径，长度控制在4-6倍桩径。

护壁与清孔直接影响桩体质量，泥浆护壁时，需动态调整泥浆比重、黏度与含砂率，软土地区提高比重增强护壁效果，砂土地区增加黏度防漏浆^[6]。清孔分两次进行，终孔后首次清孔除钻渣，钢筋笼与导管安装完毕后二次置换清孔，采用泥浆循环或气举反循环法，确保孔底沉渣厚度达标，清孔后尽快灌注混凝土避免沉渣淤积。

钢筋笼制作与安装需保障完整性与精度，按设计尺寸加工，钢筋规格、数量、间距符合规范，接头采用焊接或机械连接，设置足量加劲箍防变形，外侧焊接保护层垫块保证厚度。吊装采用两点或多点起吊，平稳下放避免弯曲变形与孔壁碰撞，下放至设计标高后固定牢固，防止混凝土灌注时上浮。

混凝土灌注是关键环节，要选用高流动性、低泌水性混凝土，坍落度控制在180 ~ 220mm；导管安装前做水密性试验，底部与孔底距离保持300 ~ 500mm，灌注时导管埋深控制在2 ~ 6m，实时监测混凝土面高度并调整提升速度，防断桩；灌注速度保持2 ~ 3m/h，桩顶超灌0.5 ~ 1.0m，初凝后凿除浮浆保质^[7]。

预制桩沉桩需适配地质，软土地区用静压沉桩法，减少土体扰动与噪声；砂土或硬土地区用振动沉桩法，降低土体阻力提效。沉桩时严控桩位偏差、垂直度与沉入深度，通过水准仪与经纬仪实时监测，确保桩顶标高达标，避免过打或欠打损伤桩体。

（三）全流程质量控制策略

桩基施工质量控制应贯穿施工准备、施工过程与竣工验收全过程，建立多层次、全方位的质量保障体系。

施工准备阶段的质量控制是基础。技术人员需深入研读设计文件与地质勘察报告，结合工程实际编制专项施工方案，明确成孔设备选型、护壁措施、混凝土配合比、灌注工艺等关键参数，针对坍孔、缩径、钢筋笼上浮等可能出现的问题制定应急预案。对于复杂地质条件下的桩基施工，应进行试成孔或试桩工艺，验证设计参数的合理性，优化施工工艺细节。施工单位需对原材料进行严格检验，钢筋、水泥、砂石等材料必须具备质量合格证书，进场后按规定批次抽检，混凝土配合比需经试验确定并动态调整，确保满足施工与设计的要求。

施工过程中的动态质量控制是核心。建立“三检制”（自检、互检、专检）质量管理体系，对每道工序进行严格把关^[8]。成孔阶段实时监测孔深、孔径、垂直度与沉渣厚度，采用测斜仪监测孔斜偏差，井径仪检测孔径变化，沉渣厚度采用电子沉渣仪或测绳检测，不合格者必须返工处理。钢筋笼制作过程中，质检员需检查钢筋规格、间距、焊接质量与保护层垫块设置，确保符合设计与规范要求。混凝土灌注阶段，监测混凝土的坍落度、初凝时间与灌注速度，采用超声检测或雷达监测技术实时监控混凝土浇筑质量，发现异常立即采取补救措施。

智能化监测技术的应用提升质量控制精度。施工单位可采用桩基施工智能化监测系统，集成传感器技术、物联网与大数据分

析平台,实现施工过程的实时监控与数据化管理。成孔阶段通过三维成像技术直观呈现孔壁形态,精准测量孔深、孔径与垂直度;混凝土灌注阶段,通过导管内混凝土面高度、灌注压力与流量的动态监测,结合理论计算模型实现精准控制,有效预防断桩、夹泥等质量通病。BIM技术的深度应用可实现质量控制的可视化与精细化,通过建立桩基BIM模型,进行施工方案模拟、进度可视化管理与质量问题追溯,施工前模拟桩基与地下管线、地铁隧道等周边构筑物的位置关系,避免施工冲突,施工中通过模型比对及时发现偏差并调整^[9]。

竣工验收阶段的质量检测是保障。桩基施工完成后,需按规范要求承载力检测与桩身完整性检测。承载力检测可采用静载试验或高应变动力检测法,验证单桩承载力是否满足设计要求;桩身完整性检测采用低应变反射波法、超声透射法或钻芯取样法,检测桩身是否存在断桩、夹泥、缩径等缺陷。检测数量需符合规范要求,对检测不合格的桩基,应分析原因并采取补桩、加固等处理措施,确保全部桩基质量达标后才能进入下道工序。

(四) 智能化与信息化应用策略

智能化与信息化的融合应用,是提升桩基施工技术水平的核心方向,能实现施工过程精准化、高效化与智能化管理,推动工程质量与效率双提升。

BIM技术贯穿桩基工程全流程,应用成效显著。设计阶段,通过构建三维地质模型与桩基模型的融合模型,可辅助优化工程桩布局,规避与地铁隧道、地下管线等构筑物的冲突。施工准备阶段,借助BIM模型模拟施工方案、开展技术交底,直观呈现流程与质量控制点,提升施工人员理解度。施工过程中,通过Dy-namo程序算法实现工程桩自动勘察、桩长精准计算与统计,确保桩体嵌入持力层符合设计要求。竣工阶段,BIM模型整合施工数据与检测结果,形成数字化档案,为后续运维提供支撑。

智能化监测系统实现施工实时管控。成孔环节,传感器实时采集孔深、孔径等数据,经物联网传输至大数据平台,偏差自动预警;钢筋笼安装采用激光定位,保障安装精准度,避免偏移上浮;混凝土灌注时,流量、压力与液位传感器协同监测,结合智能算法调整灌注速度,确保桩体密实。

大数据与人工智能技术提升决策科学性。施工单位收集不同地质、桩型的施工数据,建立数据库,通过AI算法分析施工参数与质量指标的相关性,优化参数组合,为类似工程提供参考。同时,利用机器学习预测质量风险,提前防范;信息化管理平台整合进度、质量等数据,实现资源优化、进度调整与质量追溯,提升项目精细化管理水平。

(五) 环保与安全保障策略

在绿色发展理念与安全生产要求下,桩基施工需统筹环保与

安全,实现工程建设、生态保护与人员安全的协调发展。

环保施工核心是减少对周边环境的影响。噪声控制方面,选用低噪音、低振动的液压履带式钻机、静压沉桩机等设备,优化动力传输系统降噪;城市居民区、学校等敏感区域需合理安排施工时间,避开夜间与午休时段,必要时设置隔音屏障。泥浆污染治理上,推广“泥浆集中制备与循环利用系统”,通过多级沉淀池、旋流分离器及压滤机协同作用,实现泥浆净化复用,大幅削减废浆排放,净化后废水达标排放、废渣规范处置;环保要求极高的项目,全面采用贝诺特工法、螺旋钻孔桩等干作业成孔技术,从源头杜绝泥浆污染。

土壤与地下水保护需贯穿施工全程。施工单位应合理规划作业区、材料堆放区与废水处理区,防止施工材料污染土壤^[10];钻孔时严控泥浆泄漏,避免渗入地下污染地下水;混凝土浇筑时防止水泥浆外溢,及时清理废弃物,施工结束后开展土壤修复与绿化恢复,恢复场地生态。

安全生产需聚焦风险防控。孔口防护方面,成孔后未灌注混凝土前,必须设置牢固盖板或护栏,防范人员坠落;钢筋笼吊装时,吊具需检验合格,指挥人员持证上岗、信号明确,避免碰撞或坠落事故。用电安全上,采用三级配电、两级保护系统,电气设备做好接地与绝缘处理,在潮湿环境使用安全电压,杜绝触电风险。深基坑施工时,设置监测点实时监测边坡位移与沉降,防范坍塌事故。同时,施工单位需开展安全培训与技术交底,配齐防护用品,定期排查隐患,落实安全生产责任制,保障施工安全有序。

三、结语

桩基施工技术作为岩土工程的核心支撑技术,其应用质量直接决定工程结构的安全稳定性与长期耐久性。研究表明,桩基施工技术的科学应用需坚持“地质适配为基础、工艺优化为核心、质量控制为保障、智能创新为动力、绿色安全为底线”的原则。随着岩土工程向更深、更复杂的地质环境拓展,桩基施工技术将面临更高的挑战与发展机遇。未来,桩基施工技术将朝着智能化、绿色化、高效化方向发展,新型环保材料的研发、数字化施工平台的完善、AI技术在质量预测与风险防控中的应用将成为重要发展趋势。施工单位应不断总结工程实践经验,加强技术创新与成果转化,优化应用策略体系,提升桩基施工的技术水平与工程质量,为我国岩土工程行业的高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 赵有强. 土木工程结构设计中地基加固技术的实践标准与应用[J]. 大众标准化, 2025, (14): 142-144.
- [2] 智杰. 浅谈桩基施工技术在岩土工程中的应用[J]. 居舍, 2020, (13): 57.
- [3] 冯渊. 钻孔灌注桩技术在建筑工程施工中的应用[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(12): 64-66.
- [4] 李志华. 超高层建筑施工中的基础灌注桩后压浆技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(6).
- [5] 肖云. 旋挖钻孔灌注桩在桩基施工中的应用研究[J]. 新城建科技, 2025, 34(01): 165-167.
- [6] 王沛源. 桩基施工中的常见问题及处理对策[J]. 建筑工程技术与设计, 2018(35): 4346.
- [7] 曾梅. 旋挖钻孔灌注桩后注浆法在建筑工程桩基施工中的应用研究[J]. 科技资讯, 2023, 21(03): 89-92.
- [8] 李绍华. 高层建筑基础大体积混凝土施工质量的把控[J]. 建材发展导向, 2025, 23(13): 124-126.
- [9] 黄涛, 孙远来. BIM技术在绿色建筑施工中的多维化探索应用[J]. 陶瓷, 2025(6): 194-196.
- [10] 李钢. 绿色施工技术在市政路桥施工中的应用探究[J]. 数字化用户, 2022, 28(37): 80-82.