 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i10.12075

Research on Prestressed Pipe Pile Driving Construction Technology in Deep and Thick Silt Layer

Yun Chen

Middling Coal, Jiangnan Construction Development Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510440, China

Abstract

Soft soil foundations with thick silt layers are characterized by high water content and high compressibility, making them typical complex geological conditions for building pile foundation construction. Prestressed concrete pipe piles are widely used in housing construction, municipal engineering, and industrial building foundation projects in soft soil areas. However, when carrying out pile sinking construction in sites with thick silt layers, quality issues such as pile inclination and excessive post-construction pile foundation settlement are prone to occur. To address these construction challenges, this paper systematically analyzes the adverse effects of silt layer geological characteristics on pile sinking construction, summarizes common quality defects encountered on construction sites, and outlines a set of effective key construction techniques and quality control measures from aspects such as construction preparation, selection of pile sinking processes, and treatment of common quality problems. The aim is to reduce soil compaction disturbance in soft soil, significantly improve the qualification rate of pile formation, and ensure the quality and safety of pile foundation construction. This can provide reference for similar pipe pile construction projects on soft soil foundations.

Keywords

deep silt layer; prestressed pipe pile; pile sinking construction; technical research; quality control

深厚淤泥层预应力管桩沉桩施工技术研究

陈云

中煤江南建设发展集团有限公司，中国·广东 广州 510440

摘要

深厚淤泥层软土地基有着含水率高、压缩性大等特点，是建筑桩基施工的典型复杂地质。预应力混凝土管桩被广泛应用于软土地区房建、市政及工业建筑基础工程。但在深厚淤泥层场地开展沉桩施工时，极易出现桩身倾斜、后期桩基沉降超标等质量问题。为解决上述施工难题，本文主要系统分析淤泥层地质特性对沉桩施工的不利影响，总结施工现场常见质量病害，从施工准备、沉桩工艺选型、质量通病治理等方面，梳理一套有效地施工关键技术与质量控制措施。旨在降低软土挤土扰动，大幅提升成桩合格率，保障桩基施工质量与，可为同类软土地基管桩施工工程提供参考借鉴。

关键词

深厚淤泥层；预应力管桩；沉桩施工；技术研究；质量控制

1 引言

如今，沿海、沿江城市建设用地日趋紧张，大量工程项目选址于滩涂回填、河湖淤积形成的深厚淤泥层场地。此类软土地基土层厚度普遍可达数十米，固结速度慢，对外界施工扰动极为敏感。预应力管桩作为预制桩基主流形式，相较于钻孔灌注桩来说，无需泥浆护壁、成桩周期短、现场污染小，更适配现代化快速施工需求，在软土地区基建工程中普及率逐年提升。基于此，本文专门结合现场施工经验，针对性优化沉桩施工工艺，细化全过程质量控制要点，总结可落地、可复制的施工技术体系，有效解决软土地区管桩施工通病，以期参考。

【作者简介】陈云（1993-），男，中国广东龙川人，本科，工程师，从事地基基础研究。

2 深厚淤泥层地质特性及施工难点

2.1 深厚淤泥层核心地质特性

深厚淤泥层属于典型饱和软黏土，是长期积水淤积形成的特殊土层，工程特性极差。一是土体含水率极高，土体呈流塑状态，承载力极低；二是土体孔隙比大、渗透性极差，沉桩挤土产生的超孔隙水压力无法快速消散，长期处于应力累积状态；三是土体流变效应显著，受外力扰动后极易发生塑性变形，稳定性极差。

2.2 预应力管桩沉桩核心施工难点

预应力管桩属于挤土型桩基，沉桩过程中会强行挤压周边土体。在深厚淤泥层中，土体无法快速排水固结，挤压应力会向四周扩散，造成地面隆起、土体滑移，导致已完成施工的管桩发生偏移、倾斜，严重

时引发桩身断裂，是软土管桩施工最主要的质量难题。还存在沉桩垂直度控制难度大的情况。流塑状淤泥无法为桩身提供稳定侧向支撑，沉桩初期桩身极易受土体不均匀挤压力影响发生偏斜。若首节桩垂直度控制不达标，后续接桩、沉桩会持续累积偏差，最终造成整桩倾斜超标，大幅降低桩基承载力[1]。

3 深厚淤泥层预应力管桩沉桩施工关键技术

3.1 施工前期准备技术要点

前期精细化准备是规避软土施工隐患的基础。首先要细化地质勘察工作，结合勘察报告补充现场探勘，精准掌握淤泥层厚度、分层情况、地下水位、承载力参数及下卧硬层标高，以此确定桩长、沉桩方式、终桩标准等核心施工参数，杜绝盲目施工。其次做好场地平整与加固处理，深厚淤泥层场地承载力不足，大型桩机进场易发生沉降倾斜，需采用碎石换填、分层碾压的方式硬化施工区域场地，保证桩机机身水平稳定，按照这种方式能够从源头降低桩身偏斜概率[2]。

与此同时，需要工作人员在其中严格把控管桩进场质量，优先选用高强度预应力管桩，进场后逐一检查桩身外观、尺寸、合格证及检测报告，杜绝桩身开裂、蜂窝麻面、端部破损的不合格桩入场。管桩堆放需铺垫枕木、分层堆放。而且，施工前做好桩端、桩顶找平处理，保障沉桩受力均匀。

3.2 沉桩工艺选型与优化

当前管桩沉桩主要分为锤击法与静压法两种工艺，结合深厚淤泥层施工特点，优先选用静压沉桩工艺。静压沉桩依靠液压设备匀速压桩，无冲击振动、桩身损伤小，能够精准控制沉桩速率，能够很好地适配软土敏感地质；而锤击法振动冲击大，易扰动淤泥土体，还容易造成桩身开裂，仅可在地质条件相对较好的浅层淤泥场地辅助使用。

沉桩速率是软土施工的核心控制参数，严禁快速压桩。施工初期2至3米范围内采用低速压桩，需要在其中重点校准桩身垂直度；进入深层淤泥层后匀速稳压，避免速率骤快骤慢，给土体预留应力释放必要地时间，可以减少超孔隙水压力累积。同时，施工人员按照上级单位的前期方案来进行操作，有效优化沉桩顺序，摒弃传统逐排连续沉桩模式，采用跳打施工、由中间向四周扩散的施工顺序，有效分散挤土应力，按照这种方式能够避免局部土体应力集中，大幅降低地面隆起与桩体偏移问题。

3.3 接桩与终桩施工控制技术

深厚淤泥层场地桩长普遍较长，多需要分段接桩施工，接桩质量直接决定整桩完整性。施工中优先采用钢端板焊接接桩，接桩前清理两端板杂物、淤泥，保证端板贴合紧密，桩身垂直度偏差严格控制在0.5%以内。在进行焊接过程中，则是需要采用分层对称焊接工艺，减少焊接变形，焊接完成后自然冷却足够时长，严禁未冷却直接沉桩，防止高温焊缝遇水土体收缩产生应力开裂。

终桩控制遵循“双控原则”，以设计桩长为主、压桩力为辅。淤泥层端阻力较小，单纯依靠压桩力容易提前终桩，导致桩基承载力不足；需结合勘察报告硬层标高，这样一来，可以确保桩端穿透淤泥层嵌入稳定持力层，同时，还需要相关工作人员在其中有效记录终桩压力、沉桩深度等数据，保证每根桩施工参数可追溯。

4 常见质量通病及整改处理措施

4.1 桩身倾斜、桩位偏移

该病害主要因场地不平整、桩机偏移、软土挤压滑移、初期垂直度把控不严导致。预防方面，施工前严格硬化场地、调平桩机，首节桩慢速沉桩、实时双方向校核垂直度；施工中动态监测周边土体变形。对于轻微偏移倾斜的桩体来说，可在土体稳定后采用微调纠偏处理；倾斜超标、影响承载力的桩体，需结合设计要求采取补桩、灌芯加固等整改措施，保障桩基受力达标[3]。

4.2 桩身开裂、断桩

深厚淤泥层沉桩速率过快、接桩质量差、土体应力突变是断桩、裂桩的主要诱因。施工中严格管控压桩速度，杜绝暴力沉桩，规范焊接接桩工艺。对于浅层细微裂缝桩，可采用高压注浆、灌芯补强修复；深层断裂、结构性破损的桩体，需作废处理并重新补桩，消除结构安全隐患。

4.3 地面隆起、土体滑移

大面积连续沉桩极易引发淤泥层整体滑移、地面隆起，挤压已完成桩体变形。日常施工中严格执行跳打施工、分段间歇工艺，配合应力释放孔泄压。若出现大面积隆起，立即停止区域施工，静置消散土体应力，同时复测所有已成桩桩位、垂直度，对偏移桩体及时整改，避免后期隐患扩大。

5 施工质量保障措施

5.1 完善现场管理制度

建立技术交底、过程旁站、验收复核三级管理制度，施工前针对淤泥层施工难点开展专项技术交底，让施工人员明确软土施工参数与风险点；施工过程安排技术人员全程旁站，实时把控沉桩速率、垂直度、接桩质量；单桩施工完成后及时复核桩位、桩顶标高，做好施工记录，实现全过程质量管控[4]。此外，工序验收执行班组自检、技术员复检、监理复核三道

流程，每根桩终压完成后同步归档压桩力、入土深度、桩位偏差、接桩外观全套原始数据，纸质台账与电子记录同步留存，实现单桩施工全流程可追溯。材料管控同步纳入制度体系，管桩进场逐根核查外观、端板平整度，堆放采用枕木分层垫高，避免出现淤泥土层受潮变形的情况，按照这种方式能够从源头消除先天质量缺陷。

5.2 强化动态监测管控

软土淤泥层孔隙水压力消散缓慢，沉桩挤土带来的土体滑移、地面隆起具备滞后性，仅依靠人工现场巡查无法提前预判风险，必须在实际的施工过程中专门搭建全覆盖、多维度动态监测网络。具体来说，监测点位按分区均匀布设，包含地面沉降观测点、土体隆起监测桩、孔隙水压力测孔、已成桩位移监测四类测点，监测断面覆盖施工区中部、边缘及周边既有建筑，淤泥层范围内分层埋设孔隙水压力计，实时捕捉土体内部应力变化。

施工期间需要管理者设定分级监测频次，提前依据地质参数设定预警阈值，地面隆起、桩位偏移、孔隙水压力任一指标超出限值，立即暂停区域内所有沉桩作业，静置待土体应力逐步消散。监测数据每日整理汇总，技术团队结合数值变化研判挤土扩散范围，动态调整跳打间距、施工间歇时长。若监测显示局部隆起持续扩大，及时增设竖向应力释放孔辅助泄压，复测周边已成桩垂直度，对偏移超标桩提前制定纠偏或补桩方案。

5.3 挤土效应专项防控措施落地管控

深厚淤泥层渗透性弱、土体流变特性突出，沉桩产生的挤土应力与超孔隙水压力短时间难以消散。因此，需将挤土防控作为贯穿沉桩全过程的专项管控模块，形成“事前布设、事中调节、实时监测、动态停工”一体化防控流程。施工前期依据勘察报告划分挤土风险分区，桩群密集区域、临近既有建筑区域作为高风险区，加密布设竖向应力释放孔，孔深穿透淤泥层直达下部透水层，便于孔隙水持续排出，降低土体内部应力累积。布孔完成后安排专人检查孔道通畅度，避免淤泥塌孔堵塞泄压通道，失去应力释放作用。

而且，沉桩作业阶段严格把控施工间歇时间，同一区域连续完成一定数量管桩施工后，暂停作业预留静置缓冲期，给淤泥土体充足时间排水泄压，禁止为追赶施工进度不间断连续压桩。技术人员全程记录每一批次沉桩后的地表变化、孔隙水压力监测数值，以此判断土体应力消散速度，灵活调整间歇时长。现场同步布设多组地面隆起、桩位位移监测点位，安排监测人员定时采集数据，一旦隆起量、桩身偏移数值触及预警标准，即刻叫停该片区所有沉桩工序，不得抱有侥幸心理继续施工。

5.4 细化基坑开挖配套防护措施

需针对淤泥软土特性，制定专项开挖防护细则，从开挖方式、机械作业、堆载管控、应急处置多维度落实防护措施。

开挖前期提前落实软土加固前置工序，严格遵循规范要求，若承台底部存在两米以上厚淤泥层，高层建筑施工前必须采用搅拌桩满堂加固或场地换填，不能为压缩成本省略加固工序，从根源降低土体侧向挤压强度。开挖作业坚持分层分段施工，每层开挖厚度严格控制在 1 米以内，桩体两侧土体开挖高差不得超过 1 米，杜绝一次性深挖造成单侧土压力集中挤压桩身弯曲变形。场内运输、开挖区域全覆盖铺设厚钢板，分散重型挖机、渣土车辆的集中荷载，避免车辆行驶振动扰动淤泥土体，带动周边已成桩发生位移。现场作业对机械操作划定约束范围，挖机作业时与桩基保持安全距离；大面积基坑优先选用长臂挖机远距离取土，减少机械近距离碾压扰动。开挖产生的淤泥弃土及时外运，明确淤泥层开挖风险、分层厚度、机械操作禁令，全程安排技术人员旁站，同步留存开挖影像记录。

6 结语

简而言之，深厚淤泥层软土地基的复杂性与特殊性，决定了预应力管桩沉桩施工相较于常规地质存在更大技术难度与质量风险。为此，需要工作人员结合软土场地工程施工实践来针对性优化施工工艺，最终可以形成一套适配深厚淤泥层的管桩沉桩施工技术体系。此外，在后续软土地区桩基工程施工中，还需要施工单位需持续立足地质特性，摒弃常规施工思维，不断优化施工参数与防控方案，充分发挥预应力管桩的技术优势，保障建筑基础工程施工质量。

参考文献

[1] 余冰.深厚淤泥质土层复杂环境下大面积基坑支护施工技术[J].砖瓦, 2024(9):166-168.

[2] 王青云.深厚淤泥层临近构筑物承台基坑复合支护施工技术[J].中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术, 2024(002):000.

[3] 王红军.深厚淤泥质软土地层盾构隧道选线及加固技术研究[J].铁道标准设计, 2025(4).

[4] 杨陈相,张落宁,赵霞.深厚淤泥地层三轴搅拌桩施工技术研究[J].工程技术研究, 2025(16).