 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i5.10287

Quality Control Technology for Pile Foundation Forming in Super-thick Silt Subsoil Offshore Areas of the Greater Bay Area

Mingwei Wen[1] Yun Wang[2] Yaren Li[2] Wenjiang Lu[2] Zhiwei Wang[2]

1. Nansha District Construction Project Quality and Safety Supervision Station, Guangzhou, Guangdong, 510000, China
2. China Construction Third Engineering Bureau Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

The geological conditions at the southern end of Wanqingsha in Nansha District, Guangzhou are complex. The Nansha Universal Cultural and Sports Complex Project, as a Class A comprehensive sports venue, imposes extremely high requirements on structural safety and foundation stability. The project employs bored cast-in-place piles as the main pile foundation. The construction site is characterized by thick fill soil, silt, and silty soil layers with poor engineering properties, which may adversely affect pile foundation construction. Based on actual construction practices, this study systematically analyzes and summarizes quality control measures throughout the bored cast-in-place pile forming process to address risks associated with hole formation and pile installation in soft strata. The findings provide practical references for pile foundation engineering of large-scale sports venues under similar complex geological conditions.

Keywords

coastal silt geology in the Greater Bay Area; complex geological conditions; drilled pile; soft soil layer; quality control

大湾区近海超厚淤泥下桩基成型质量控制技术

温铭伟[1] 王耘[2] 李亚仁[2] 芦文江[2] 王志伟[2]

1. 南沙区建设工程质量安全监督站，中国·广东 广州 510000
2. 中建三局集团有限公司，中国·广东 广州 510000

摘　要

广州市南沙区万顷沙南端区域地质条件复杂，南沙全民文化体育综合体项目作为甲级综合体育场馆，对结构安全与基础稳定性要求极高，工程采用钻孔灌注桩作为主体桩基础。项目场地分布有较厚填土、淤泥及淤泥质土等软弱土层，其工程特性差、易对桩基施工造成不利影响。本文结合该建筑工程实际施工情况，针对软弱地层带来的成孔、成桩风险，对钻孔灌注桩成型全过程的质量控制措施进行系统分析与总结，为同类复杂地质条件下大型体育场馆桩基工程提供实践参考。

关键词

大湾区临海淤泥地质；地质条件复杂；钻孔灌注桩；软弱土层；质量控制

1 引言

钻孔灌注桩基础适应性强、承载力大、机械化程度高且安全性好，已广泛应用于桥梁、超高层建筑等工程[1]。广州市南沙区全民文化体育综合体项目地处大湾区临海区域，存在超厚淤泥层等不良地质及特殊性岩土，场地稳定性差，但相关问题可通过针对性工程措施解决。本文结合该项目旋挖式钻孔灌注桩施工实践，分析临海超厚淤泥层地质条件下桩基施工质量控制关键措施，阐述施工工艺流程，为相似地质条件下的旋挖钻孔灌注桩施工提供指导，并为桩基成型技术理论提供实践支撑。

【作者简介】温铭伟（1982–），男，中国广东潮州人，本科，高级工程师，从事建筑施工研究。

2 工程概况

2.1 总体概况

南沙全民文化体育综合体育项目（综合体育馆、游泳跳水馆及其配套工程）位于南沙区万顷沙二十一涌以南，位于大湾区核心区，北邻南沙湿地公园，南邻伶仃洋，西侧为洪奇沥水道，东侧为蕉门水道。项目共计 7 个单体建筑，总建筑面积约 32 万㎡，其中 3# 综合体育馆规模坐席为 2 万座，建筑面积约为 11 万㎡，4# 游泳跳水馆规模坐席为 4000 座，建筑面积约为 6.08 万㎡，综合体育馆和游泳跳水馆均定位为甲级综合体育场馆；5-9# 楼为配套楼。

2.2 地质水文概况

场地内普遍分布有厚度较大的淤泥层（平均厚度

35m)、中粗砂层（5~15m），地下水位埋深 0.5~2.0m, 按干湿交替判别具“中等腐蚀性”。土体灵敏性高、前期固结时间不足，土体承载力较差。

地下水初见水位平均埋深 0.61m, 稳定水位平均埋深 0.38m。地下（表）水对混凝土结构有弱腐蚀性，长期浸水情况下，对结构中的钢筋有弱腐蚀性。

2 旋挖式钻孔灌注桩施工工艺流程

旋挖钻泥浆护壁成孔的特点是成孔速度快、施工功效较高，适用粘土、粉土、砂土、淤泥质土、人工回填土及含有部分卵石、碎石的地层的施工，被建筑界誉为“经济环保型工艺”[2]。结合过往施工经验，优化项目旋挖式钻孔灌注桩施工工艺流程如图 1:

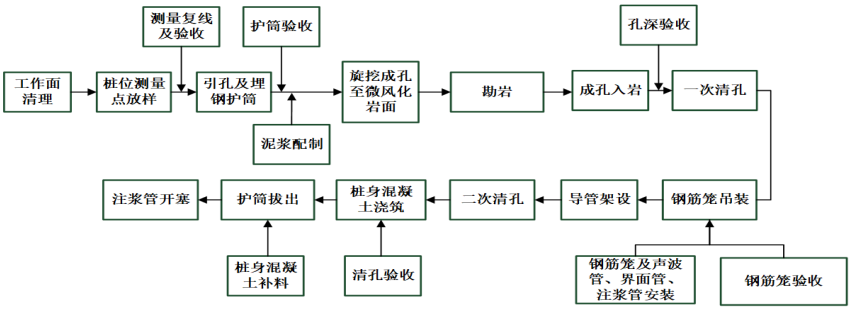


图 1 旋挖式钻孔灌注桩施工工艺流程图

1. 工作面清理：工作面清理干净，开始测量桩位。

2. 测量点放样：测量桩位及布置桩位控制点。桩位控制点允许偏差 ±5mm，桩位中心允许偏差 ≤10mm。

3. 引孔及埋设钢护筒 : 桩点位验收合格后，借助旋挖桩机，采用同钢护筒直径相同或略大的钻头挖引孔，用履带吊吊着震动锤夹住进行钢护筒埋设，护筒长度不少于 24m，钢护筒中心偏差 ≤5cm，竖直线倾斜不大于 0.5%，护筒高出地面约 0.3m。

4. 旋挖成孔：泥浆配置要求泥浆比重 1.05~1.25, 泥浆粘度 17~28s，含砂率 ≤8%，PH 值 8 ~ 10。旋挖至微风化岩面严格控制淤泥层提钻，避免扰动淤泥时补充到孔内，以防钻孔内液面下降而导致钻，储浆池内的泥浆应能及孔坍塌。

5. 成孔入岩: 开始钻进或进入岩面时，为保持钻孔垂直，宜缓慢进尺。在钻进过程中如发现钻杆摇晃或钻进困难时，应立即提钻检查，等查明原因并妥善处理后再钻。

6. 一次清孔：一次清孔采用桩机放慢钻速利用双底捞渣钻头将沉渣带出，一次清孔结束，测量及验收合格后，进行钢筋笼吊放。

7. 钢筋笼吊装：钢筋笼吊装采用履带吊三点式吊装、整体回直入孔的吊装方法。钢筋笼调至孔口，钢筋笼中心对准孔位中心，边下钢筋笼边焊接保护块及绑扎声测管、界面管。

8. 导管架设：安装混凝土导管，调整管底标高距桩底不超 0.3m。

9. 二次清孔：二次清孔完成后，泥浆密度应小于 1.25g/cm^3，粘度不大于 28s，含砂率 ≤8%，孔底沉渣厚度 ≤50mm。

10. 混凝土浇筑：初灌埋管深度不小于 1 米，混凝土坍落度宜为 180 ~ 220mm，初凝时间控制在 12 小时左右。导管埋入混凝土深度宜为 2m 左右，桩混凝土超灌高度不低于 1m。

11. 护筒拔出：采用振动锤，将护筒慢慢拔出；混凝土浇筑完成后，开始护筒拔出，护筒拔出顶面一定高度（1~2m）后继续灌注，边拔除护筒边测量混凝土高度，并及时补充混凝土。

12. 注浆管开塞：开塞工序应在成桩后 7~8 小时，使用注浆泵压入清水，开塞压力控制在 0.8~1.0MPa。

3 工程质量控制重难点

3.1 机械作业场地稳定性

场地内部填土、淤泥、淤泥质土等软土分布广，厚度大，欠固结，其中回填土遇水容易软化，灌注桩施工机械重达 170t 以上，成桩机械与车辆在该地质上施工作业时，垂直度难以保证，有极大的机械安全风险及影响成桩质量，保证机械作业场地稳定性是本工程的重点和难点。

3.2 桩基塌孔、缩颈隐患

钻孔施工操作中，泥浆稳定性比较高。当泥浆产生气泡时，观察钻孔内部坍塌问题[3]。场地回填土层下部流塑状淤泥层 + 软塑状淤泥质土层超过 35m，粉细砂层和中砂层较厚，稳定性差，灌注桩施工过程中会出现旋挖成孔速率和频率控制不稳定，且若出现护筒长度不足、泥浆相对密度不够、扰动较大或泥浆指标不符合要求的情况，会使孔壁未形成坚实泥皮容易造成塌孔、缩颈等质量问题。

3.3 孔底沉渣

场地内地下水对施工影响为基岩裂隙水和第四系孔隙水，第四系孔隙水的主要含水层为冲积成因的砂土，为中等～强透水层，本场地孔隙水一般具微承压性以至于岩石颗粒崩落和回填土土壤松动较多，且灌注桩为嵌岩端承桩，大部分为单桩承台，对桩基承载力要求高沉渣厚度管控尤为关键。

3.4 桩基有效深度

工程地质复杂，桩型为端承桩，以微风化碎屑岩或中风化碎屑岩为桩端持力层。如何有效判别岩层，确保正确进入持力层达到有效深度尤为关键。

3.5 桩基侵蚀性

项目临近海洋，受退潮或涨潮海水倒灌及周边环境的影响，场地土的腐蚀性可能存在与水质相同的腐蚀特征，地下侵蚀性离子多，容易对桩基耐久性造成影响。

3.6 桩基串孔隐患

项目灌注桩数量较大，共计 1949 根钻孔灌注桩，有串孔的隐患，因此需要提前指定应对控制措施。

4 质量控制关键施工技术

4.1 工程试桩

试桩可以评定旋挖成孔工艺、桩机及施工设备的选择、护筒埋设、泥浆护壁、施工要领、清孔要求等是否满足本工程地质的要求，保证成桩质量。并可测定单桩水平静载承载力，提供实践数据支撑。

4.2 桩基作业平台

场地内桩基施工存在大量机械设备作业，最大设备重量约 200t，根据现场试桩情况，现场回填土层无法满足机械施工荷载，土层承载力仅 35~38kpa，机械设备无法直接进行作业，需进行换填或加固处理。

桩基施工区域整体浇筑桩基础施工作战平台，平台绑扎 HRB400 ϕ 14@200 双层双向钢筋网，浇筑 50cm 厚 C40（3 天 100% 早强）混凝土面层。保证材料运输与旋挖桩机、履带吊、混凝土车及其他施工设备正常运行及施工。

4.3 长钢护筒施工

长钢护筒能够有效地阻挡淤泥和细砂等易塌土层，消除承压地下水的冲刷影响，有效地保证孔壁安全和成桩质量 [4]。钢护筒直径宜大于设计桩径 20cm，护筒厚度 20mm，护筒长度 20~26m（根据实际桩长调整）。钢护筒埋设后略高于地面标高、平面误差控制在 5cm 以内，竖直线倾斜 ≤0.5%。用履带吊吊着振动锤双夹的形式夹住钢护筒，微调确保钢护筒垂直和位置准确，开启振动锤由低频到高频振设。

4.4 旋挖成孔

结合“桩孔互不影响”、“钻机移动距离适中”原则，先进行钻机就位控制 [5]。在桩位复核正确、护筒埋设符合要求，护筒、地坪标高已测定的基础上，钻机才能就位。旋挖钻机就位后，利用自动控制系统调整其垂直度开始钻进，慢速下放钻头至孔底旋转挖土。

4.5 清孔

采用双底捞渣钻头清孔 + 气举反循环二次清孔工艺，同时通过测绳检测沉渣厚度，确保桩底沉渣控制满足设计要求。

4.6 钢筋笼制作与吊装

钢筋笼调至孔口，钢筋笼中心对准孔位中心，边下钢筋笼边焊接保护块及绑扎声测管、界面管。吊筋长度，界面管垂直度声测管、界面管等对正，上下轴线一致，钢筋笼吊装采用履带吊三点式吊装、整体回直入孔的吊装方法。考虑超厚淤泥地质造成充盈系数不可控的问题，根据情况采取钢筋笼包钢丝网、一次性薄壁护筒等方式能有效进行控制。

4.6.1 钢筋笼包钢丝网

一种灌注桩钢筋笼外包钢丝网结构，包括钢筋笼，、外侧设有钢丝网，钢丝网绕设在外纵筋外侧，该做法结构简单，实用性强，可有效控制混凝土浇灌过程中的充盈系数，大大提高灌注桩的成桩质量和降低施工成本具有良好的经济效益。

4.6.2 一次性薄壁护筒

钢筋笼保护层外包裹 1.5mm 厚铁皮，铁皮包覆高度高于洞顶 2m、低于洞低 2m；铁皮外，桩径 ≤1400mm 使用 4 根纵向定位筋，桩径 > 1400mm 使用 6 根纵向定位筋，铁皮在外围主、箍筋焊点位置打孔，穿铁丝绑扎固定。

4.7 超声波成孔质量检测仪

超声波成孔质量检测仪整套系统实现智能化，整个测试过程和探头升降系统实现自动控制，实测数据和测试结果实现多模式显示、并且现场主机可直接接打印输出结果；主机系统稳定可靠，输出结果内容丰富，直观准确。现场检测完成后，实时输出剖面影像图、偏离曲线图和数表。

4.8 工程桩智能施工管理系统

工程桩管理系统，通过空间数据和 CAD 坐标数据共融，将图纸导入的系统实现对项目桩承台可视化监管，与移动端协同作业，远程审查桩承台完成情况，实现实时追踪，同时将数据传入后台进行统计分析，并支持导出质量报告，提高桩承台的施工效率和质量，有助于提高建筑工程的整体效益。

5 结语

综上所述，桩基质量成型是南沙全民文化体育综合体项目施工实践的重中之重。本文结合该项目针对超厚淤泥地质条件下桩基质量控制技术进行阐述，分别以工程试桩、桩基施工平台、长钢护筒、清孔、钢筋笼制作与吊装、钢筋笼包钢丝网、超声波成孔质量检测仪和工程桩智能施工管理系统进行展开分析总结。在项目施工过程中旋挖式灌注桩在后续检测中一类桩占比达到 95 % 以上且无三类桩，更加印证了实践过程中采用的桩基成型控制技术的有效性。

参考文献

[1] 王岩. 超长钻孔灌注桩施工工艺[J1.公路交通科技(应用技术[1]版) , 2020.16(4): 1-5.

[2] 李明,刘进国,陈强. 房建工程钻孔灌注桩施工工艺研究 [J]. 住宅产业, 2022, (04): 82-85.

[3] 谢燕财. 软土区旋挖钻孔灌注桩的施工技术及质量控制分析[J]. 砖瓦, 2021, (11): 173-174. DOI: 10.16001/j. cnki. 1001-6945. 2021. 11. 073.

[4] 陈建珍. 海相沉积软土地质条件下长护筒旋挖桩施工技术分析[J]. 四川水泥, 2023, (12): 202-204.

[5] 刘洋 . 高层建筑型钢悬挑脚手架设计特点及施工技术研究［J］. 大众标准化, 2022（3）: 73-75.