

复杂地下障碍物地质条件对钻孔灌注桩的质量等的影响分析

张建翔

上海园林(集团)有限公司 上海 202503

摘要: 桩基工程是水利工程中至关重要的环节,其中钻孔灌注桩在基础加固、基坑围护等工程中广泛应用。本文基于虹口港防汛墙综合改造工程(桩基总量559根),针对老城区特有的多类型历史遗留桩基(松木桩、混凝土方桩等)、高硬度块石障碍物及滨海相软弱土层等复杂条件,采用多阶段障碍物探摸技术(平面覆盖20m范围,高程4.0m至-1.0m)、改进型振动拔桩工艺(电动振动锤+钻机主卷扬联合系统)和钻孔-冲抓复合工法,系统解决了地下障碍物导致的扩孔率超标(最高达1.83)、钻进效率低下(单桩成孔时间16-24小时)等技术难题。通过6m加长护筒应用、泥浆比重精准控制(1.3-1.35)等12项工艺改进,最终实现充盈系数稳定控制在1.25,成桩时间缩短至3-4小时,所有桩基均达到I类或II类标准。本研究复杂地质障碍物对钻孔灌注桩的影响为城市更新项目中的桩基施工提供了技术路径,特别适用于长三角地区滨海相沉积地层中的桩基工程。

关键词: 钻孔灌注桩;复杂地下障碍物;质量控制;充盈系数;工艺优化;滨海相沉积地层

1 引言

随着城市更新进程的加快,老城区水利工程防汛墙改造项目日益增多。此类工程常面临复杂的地下障碍物地质条件,如历史遗留桩基、高硬度块石及软弱土层等,对钻孔灌注桩的成孔质量、施工效率和成本控制造成显著影响。虹口港防汛墙综合改造工程位于上海市虹口区,桩基总量559根,施工区域地质条件复杂,地下障碍物密集。本文通过系统分析地质条件及障碍物特性,提出

针对性的工艺改进措施,为类似工程提供技术参考。

2 工程概况和地址条件

2.1 工程概况

虹口港防汛墙综合改造工程重建防汛墙742.55m,桩基础选用钻孔灌注桩,本工程钻孔灌注桩共559根,其中 $\phi 600 \times 16000$ 灌注桩531根, $\phi 600 \times 20000$ 灌注桩20根, $\phi 600 \times 7000$ 灌注桩8根,桩顶高程2m,施工方法采用正循环钻进成孔。

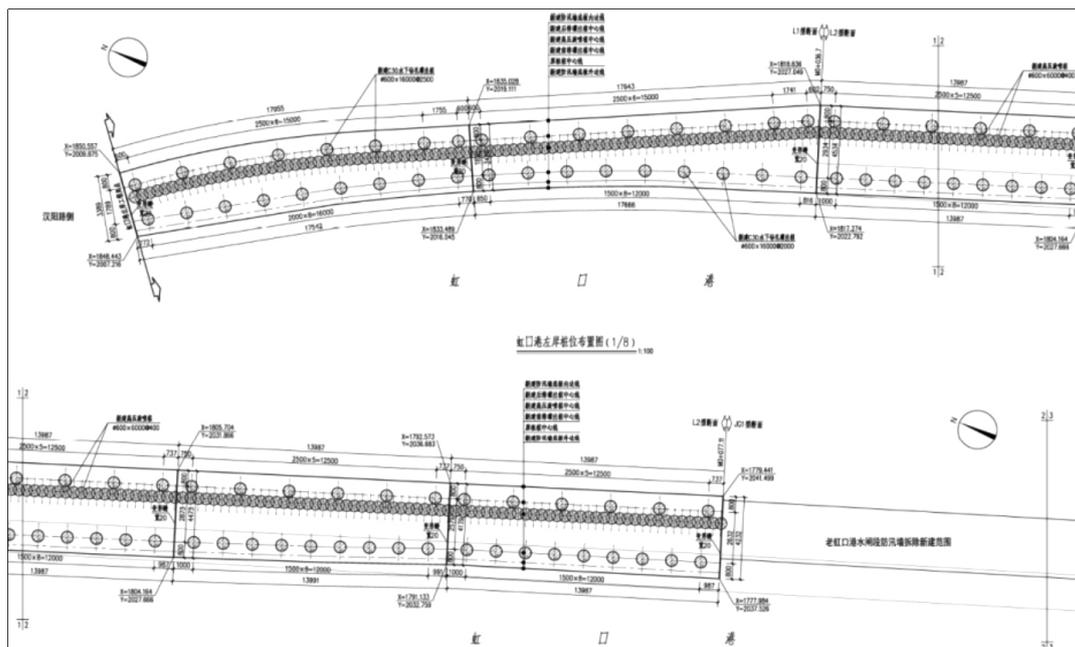


图1 部分灌注桩桩位布置图

2.2 地质条件分析

2.2.1 地形、地貌

上海地区濒临海洋，位于长江三角洲入海口东南前缘，成陆较晚，除西、南部有零星剥蚀残丘外，均为坦荡的平原。

拟建工程位于上海市虹口区，地形开阔平坦，周边交通方便，标高在2.97~5.32m左右。根据工程所处位置，

按下图所示（上海地貌单元分区图），属滨海平原地貌类型。

2.2.2 地层特性

本工程所在场地揭露层属第四纪全新世沉积物，从其结构特征、物理力学性质上的差异划分为4个工程地质主层及分属不同的亚层，各层地基土的地质时代、成因类型、分布情况详见下表“地层特性表”：

表1 虹口港防汛墙地层特性表

地质时代	土层序号	土层名称	成因类型	厚度 (m)	层底标高 (m)	密实度	压缩性	土层描述
Q ₄ ³	①	填土	人工	2.00~4.70	0.02~1.66			杂色，成分杂，结构松散，主要成分为碎石块及建筑垃圾，夹有黏性土，土质不均。
	② ₃	灰色砂质粉土夹淤泥质粉质黏土	滨海~河口	3.70~10.70	-10.05~-3.22	松散~稍密	中	含云母，土质不均，局部夹有较多淤泥质粉质黏土。
Q ₄ ²	④	灰色淤泥质黏土	滨海~浅海	4.80~11.60	-15.33~-13.73	流塑	高	含云母、有机质，夹薄层粉砂，局部夹贝壳碎屑。
Q ₄ ¹	⑤ ₁	灰色黏土	滨海、沼泽	/	/	软塑	高	含云母、有机质，夹泥、钙质结核。

2.2.3 地下水情况

本工程勘探期间，测得场地内地下潜水水位埋深为1.00~1.80m（相应标高为1.97~4.02m），受潮汐、降水量、季节、气候等因素影响而变化。

2.3 地下障碍物分部

历史资料显示，施工区域存在多排松木桩、混凝土方桩及浆砌块石等障碍物，埋深不一，且部分障碍物因年代久远已腐朽或破碎，增加了施工难度。

2.3.1 地下障碍物排查

老城区水利工程防汛墙桩基础及结构始建于上世纪初期，因城市发展及防洪需求，老城区水利工程防汛墙桩基础及结构经多次加固改造工程，查阅多项历史资料（原竣工图纸）发现如下内容：其中桩基础类型包括多排小型松木桩、木桩、木板桩、混凝土方桩、混凝土板桩、混凝土灌注桩等，老城区水利工程防汛墙结构包含浆砌块石防汛墙、混凝土底板+浆砌块石防汛墙、重力式混凝土防汛墙等。查阅多项历史资料发现老城区水利工程防汛墙基础结构复杂、埋置较深，且原竣工图纸内容不完整，是否能够如实反应老城区水利工程老防汛墙桩基及结构情况存在疑问。

2.3.2 地下障碍物探摸

根据地质报告及物探报告，结合历史资料分析无法准确的判断结构复杂、埋置较深的地下障碍物位置，加之本项目处于虹口核心地带，周边建筑物距离近及人流密集，不能进行大面积的物探，在正式施工前对平面覆

盖20m范围进行障碍物物探作业^[1]。考虑周边建筑物较近物探开挖深度范围由高程4.0m至-1.0m，在-1.0m处采用挖掘机探挖作业，仍未能将基础障碍物全部清除，在打桩区域依然存在大量木桩、块石等障碍物。

3 地下障碍物对灌注桩质量的影响

3.1 地基扰动对钻孔灌注桩质量的影响

因地下障碍物清除过程中对土体的扰动较大，且②₃灰色砂质粉土夹淤泥质粉质黏土密实度为松散~稍密，容易导致扩孔影响灌注桩成孔质量。实测充盈系数最高达1.83，远超规范要求（1.05-1.30）。

3.2 腐朽木桩对钻孔灌注桩质量的影响

老城区水利工程防汛墙基础加固木桩，多为松木桩，桩长6m，桩径150mm，且多发生不同程度的腐朽，不易拔除，腐朽木桩缠绕钻机转头，造成塌孔，引发塌孔和钻进效率低下，单桩成孔时间延长至16-24小时。

3.3 地下块石对钻孔灌注桩质量的影响

钻孔过程中，会在地表以下5m碰到块石、条石，块石为老城区水利工程防汛墙石基等，石质硬度较高，严重影响灌注桩的施工进度；同时由于成渣厚度较大，清孔时间也远超过正常的清渣时间，进一步加剧塌孔风险。^[2]

3.4 充盈系数是重要的控制指标

充盈系数=实际灌注混凝土量/理论计算混凝土量
灌注桩的充盈系数是桩基工程中用于判断施工质量的重要指标，它反映了实际灌注混凝土量与理论计算混凝土量之间的比例关系。充盈系数是桩基工程中不可

或缺的质量控制指标,其合理范围因桩型和地质条件而异。施工中需严格按照规范要求计算和控制充盈系数,以确保桩基工程的质量和安全性。

4 措施及工艺改进

针对老城区水利工程防汛墙上述复杂地下障碍物地质条件对钻孔灌注桩的质量等的影响分析,现场实施的相关措施及工艺改进如下:

4.1 强化障碍物清除过程控制

依据地下障碍物探摸经验,清除表层杂填土及时处置,过程中拆除老城区水利工程防汛墙墙身及基础及时进行清运。针对完整性较好的木桩进行拔除清理:将桩头暴露0.3-0.6m,安装电动振动锤后通电激振,使桩侧与底层的附着力振松,减小木桩侧摩擦力,然后利用钻机主卷扬机将桩拔出。此类方法拔出的木桩较为完整,对后续钻孔等工序没有负面影响。同时在地下障碍物清除深度采用挖掘机深挖及时回填减少地下障碍物。对于腐蚀较多的木桩无法拔除的障碍物进行坐标采集返图后依据桩位坐标情况进行适当移位调整,若确实无法移位的进行后续处理方案。地下障碍物清除完成后采用无杂质回填土进行压实回填。通过对地下障碍物的清除有效的将原来钻孔成桩需要16~24小时提升至3~4小时,确保了施工进度,节约了钻机用电成本。

4.2 施工工艺优化

因地下障碍物清除过程中对土体的扰动较大,且②3灰色砂质粉土夹淤泥质粉质黏土密实度为松散~稍密,容

易导致扩孔影响灌注桩成孔质量。^[3]优化护筒长度,原3m长护筒增加为6m长,减短扩孔部位。降低钻机钻进速度和单次钻进深度,提高了泥浆护壁的比重,保障钻孔灌注桩成孔质量,将原设计要求桩身混凝土方量为4.80m³(ϕ 600,桩长16m,浮桩1m),单桩实际混凝土浇筑方量却高达由8.5m³降低至6m³,充盈系数由1.83降低至1.25。在确保质量的前提下节约大量混凝土,有效控制了成本。

4.3 高效处理腐木与块石障碍物

针对腐蚀较多的木桩,孔内阻力较小的情况下,使用主动钻杆继续钻进,被腐蚀的木桩被钻头削刮而消除,有的部分会在削刮过程中被镶嵌在孔壁内,有的部分被循环泥浆浮出孔口。削刮木桩时木屑随着泥浆循环到泥浆池,设筛网及时过滤,避免将泥浆泵和钻杆堵塞。

遇到较小块石时,通过成孔将块石挤入孔壁,控制种操作时间,不能太长或效果不明显时及时修改措施,采用小径钻头在原孔位置钻出一小孔,使得需要处理的块石滚入其中,再用冲抓孔工艺将块石清除,大大提升成孔效率。

4.4 改造施工设备

缩小钻头尺寸,由 ϕ 600减至 ϕ 580,并在钻孔完成后进行两次试成孔试验,检测数量根据规范要求,共计8孔次,钻孔孔径检测系统为YGZ-14。^[4]钻孔灌注桩成孔质量检测结果汇总表如下:

表2 钻孔灌注桩成孔质量检测结果汇总表

序号	孔号	孔深测定		孔径测定				沉渣厚度 (一清后) (cm)	垂直度	备注
		设计孔深 (m)	实测孔深 (m)	设计孔径 (mm)	ϕ 最大值 (mm)	ϕ 最小值 (mm)	ϕ 平均值 (mm)			
1	试成孔1	17.60	17.72	ϕ 600	950	600	701	5.6	$\leq 0.60\%$	第一次
		17.60	17.62	ϕ 600	939	593	694	13.5	$\leq 0.60\%$	第二次
		17.60	17.52	ϕ 600	923	584	684	23.8	$\leq 0.60\%$	第三次
		17.60	17.40	ϕ 600	909	568	676	35.5	$\leq 0.60\%$	第四次
2	试成孔2	17.60	17.70	ϕ 600	959	600	715	5.6	$\leq 0.60\%$	第一次
		17.60	17.60	ϕ 600	952	591	707	15.7	$\leq 0.60\%$	第二次
		17.60	17.51	ϕ 600	940	588	697	24.5	$\leq 0.60\%$	第三次
		17.60	17.40	ϕ 600	929	576	686	35.6	$\leq 0.60\%$	第四次

4.5 适当增加清孔时长

适时调整一次清孔时长,在钻机钻进的同时对泥浆指标(泥浆黏度、泥浆比重等)进行严格控制,将泥浆比重调至1.3-1.35,保持状态进行泥浆循环,砂率降低的同时泥浆比重也随之减低,待砂率稳定后,使用小型水泵缓慢注入清水,调整泥浆比重缓慢降砂,直至符合规范要

求。^[5]经过多次试验,确定由不少于30分钟降低至不少于20分钟,使得泥浆比重在居于1.2-1.3范围后,并确认底部无大块土颗粒后停止一次清孔,及时开展下一道工序。

4.6 质量控制系统构建

建立四维质量控制矩阵,涵盖成孔、灌注、材料及数据应用四个维度,确保施工全过程可控。

成孔阶段：孔径偏差率 ≤ 8%；垂直度 ≤ 0.6%；沉渣厚度 ≤ 50mm；

灌注阶段：混凝土坍落度180±20mm；导管埋深2-6m；灌注连续中断时间 ≤ 30min；

材料控制：钻孔泥浆比重1.3-1.35，常规泥浆比重1.2-1.3；含砂率 ≤ 4%；

数据应用：建立559根桩的施工数据库，分析充盈系数与钻进速度相关系数；混凝土超耗量与地下障碍物密度呈指数关系。

5 效果评价

采取上述措施后，本项目进行了现场检验，成孔质量得到显著提升。根据试成孔检测及成桩28天后低应变检测结果，桩身完整性和承载力委托专业机构检测均达到设计要求（皆为I类桩及II类）。

5.1 成孔质量验证

首次检测表明，孔深、孔径、沉渣厚度、钻孔垂直度均达到上海市工程建设规范《建筑地基与桩基检测技术规程》DG/TJ08-218-2017及设计要求。

5.2 孔壁稳定性观测

2个试成孔连续跟踪监测时间各为12小时，每隔4小时监测一次，孔壁稳定，塌孔及缩颈大幅度减少。

5.3 充盈系数得到有效控制

单根桩混凝土使用量由8.5m³降低至6m³，充盈系数由1.83降低至1.25，在确保质量的前提下节约大量混凝土，有效控制了成本。

6 效益分析

6.1 成本对比分析

表3 工艺改进前后经济指标对比

序号	指标	改进前	改进后	降幅
1	混凝土成本	5825元/根	3990元/根	31.5%
2	机械台班费	4800元/根	3200元/根	33.3%
3	废泥浆处理费	620元/根	380元/根	38.7%
4	总工期	143天	98天	31.5%

6.2 社会效益评估

(1) 减少建筑垃圾排放量：约1250m³，提高环境保护；

(2) 降低噪声污染：夜间施工减少23次，有利于推进周边居民维稳工作；

(3) 交通影响：围挡面积缩小35%，保留单车道，对周边出行影响较小。

6.3 理论创新

(1) 提出“障碍物影响因子”概念： $\Omega = \sum (\alpha_i \cdot V_i) / A$ (α_i -障碍物类型系数， V_i -障碍物体积， A -影响面积)，量化障碍物对施工的影响。

(2) 建立充盈系数预测模型： $\psi = 1.05 + 0.12\Omega + 0.08e^{-(0.15D_s)}$ (D_s -土层扰动度)，未施工提供理论依据。

6.4 技术应用前景

本研究成果适用于85%的老城区改造项目，并可扩展应用于地铁保护桩施工，为数字化桩基施工提供基础参数库。

结语

本工程特有的复杂地下障碍物地质条件，对钻孔灌注桩的成孔质量、成本控制、施工进度均造成了不良影响。通过强化障碍物清除过程、改进施工供应降低钻进速度及单次钻进深度、多类型施工工艺结合、改进钻机转头下、提高泥浆比重、增长护筒长度等有针对性的应

对措施，过程中严格执行技术规范，精心组织施工，防汛墙工程钻孔灌注桩施工得以顺利进行，经检测，559根桩均为完整或基本完整桩（即I类桩或II类桩），满足行业验收规范，达到验收标准。

通过系统分析复杂地下障碍物地质条件对钻孔灌注桩的影响，本研究提出了一系列工艺改进措施，显著提升了成孔质量、施工效率和经济效益。研究成果为类似地质条件下的桩基工程提供了可借鉴的技术路径，具有广泛的推广应用价值。

参考文献

[1]胡志明,张艳林,刘超龙,王传铭.泥浆护壁对灌注桩孔壁稳定性的影响研究[J].建筑结构,2022

[2]闫伟.复杂地质条件下钻孔灌注桩施工关键技术[J].土木工程学报,2020

[3]张涛,王传铭.软土地基钻孔灌注桩清孔工艺优化研究[J].岩石力学与工程学报,2021

[4]《软土地层灌注桩施工扰动控制研究》(岩土工程学报,2023)Smith J, Brown K. Obstacle Detection and Management in Urban Piling Projects[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2022, 148(3): 1-12.

[5]李强,陈伟.滨海相沉积地层桩基施工扰动控制研究[J].建筑结构学报,2023.