



# 盐田港区复杂地质条件下桩基础设计

杨留娟, 张滔滔

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 工程场地复杂, 土层分布不均。当采用预制桩时, 穿越上部碎石土层和基岩风化层困难较大; 当采用灌注桩时, 场地浅部分布松散碎石土层和砂土层, 砂土层渗透系数较大, 与地表海水水力联系较强, 地下水的流动可能会受到海水涨潮和落潮的影响, 对钻孔孔壁产生冲刷, 增加孔壁坍塌的可能。针对场地复杂问题, 现场进行了前期灌注桩和 PHC 桩试桩, 灌注桩试桩泥浆流失严重, 充盈系数过大, 采用 10 m 钢护筒、泥浆加强配置黏度系数等措施仍出现异常现象, PHC 桩试桩采用引孔辅助沉桩法进行抗压静载试验, 达到极限承载力要求。从安全性、经济性、施工可行性等多角度进行桩型比选设计, 确定采用 PHC 桩, 可为工程设计提供宝贵的设计经验。

**关键词:** 地基基础设计; PHC 桩; 灌注桩

中图分类号: U655.54+4.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0096-05

## Pile foundation design under complex geological conditions in Yantian port area

YANG Liujuan, ZHANG Taotao

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** The site of this project is complex and the distribution of soil layers is uneven. When choosing prefabricated piles, it is difficult to cross the upper gravel soil layer and weathered bedrock layer. When choosing cast-in-place piles, loose gravel and sand layers are distributed in the shallow part of the site. The permeability coefficient of the sand layer is high, and it has a strong hydraulic connection with the surface seawater. The flow of groundwater may be affected by the rising and falling tides of seawater, which can cause erosion of the borehole wall and increase the possibility of borehole wall collapse. In response to the complex site issues mentioned above, preliminary cast-in-place pile and PHC pile tests are conducted on site. The mud loss of the cast-in-place pile test is severe, and the filling coefficient is too high. Measures such as using a 10 m steel casing and mud reinforcement to configure the viscosity coefficient still showed abnormal phenomena. The PHC pile test is conducted using the method of using a hole to assist in pile sinking for compressive static load testing, achieving the ultimate bearing capacity requirements. This article compares and designs pile types from multiple perspectives such as safety, economy, and construction feasibility, and determines the use of PHC piles, which can provide valuable design experience for engineering design.

**Keywords:** foundation design; PHC pile; cast-in-place pile

### 1 工程概况

盐田港区东作业区坐落于广东省深圳市盐田区, 大鹏湾北岸, 地理坐标 E114°17'31.1"、N22°34'57.8"。港区南部与香港隔海相望, 西接盐田港区中作业区, 东邻大小梅沙, 北靠菠萝山。

拟建(构)筑物主要包括: 进/出港闸口、污水处理站、消防泵站、变电所、设备维修配套辅助用房、工程材料库、机修车间、外卡管理站、

前沿办公楼、查验区办公用房及查验棚、电池更换站、维修工棚、110 kV 变电站、围网等。

根据地勘资料显示, 各土层分别为①<sub>3</sub> 杂色填土混碎石、①<sub>4</sub> 杂色碎石混填土、②<sub>2</sub> 灰色粉质黏土、③<sub>2</sub> 灰色中粗砂、③<sub>3</sub> 灰色中粗砂、③<sub>4</sub> 褐黄-褐红色粉质黏土、⑤ 褐黄色残积土、⑧<sub>1</sub> 全风化角砾岩、⑧<sub>2</sub> 强风化角砾岩、⑨<sub>1</sub> 全风化花岗岩、⑨<sub>2,1</sub> 砂土状强风化花岗岩。场地土层地质见表 1。

收稿日期: 2024-09-27

作者简介: 杨留娟 (1984—), 女, 硕士, 国家注册一级结构工程师, 高级工程师, 研究方向为土木工程。

表 1 场地土层地质  
Tab. 1 Geology of soil layers on site

土层编号	土层名称	土层描述	土层层厚/m
① <sub>4</sub>	杂色碎石混填土	中密-密实, 块体坚硬, 呈不规则棱角状, 块径大小不均, 局部有大块人工填石	1.3~26.2
③ <sub>2</sub>	灰色粉质黏土	饱和, 可塑-硬塑, 局部可塑偏软	0.8~12.5
③ <sub>21</sub>	灰色中粗砂	饱和, 稍密-中密, 局部为密实状	0.5~7.0
③ <sub>3</sub>	灰色中粗砂	饱和, 中密-密实	0.6~10.5
③ <sub>4</sub>	褐黄-褐红色粉质黏土	局部为灰黄色, 饱和, 可塑偏硬-硬塑	1.3~10.4
⑤	褐黄色残积土	饱和, 硬塑	0.9~7.0
⑧ <sub>1</sub>	全风化角砾岩	棕红色, 湿, 硬塑(或密实)	0.8~6.3
⑧ <sub>2</sub>	强风化角砾岩	棕红色, 稍湿, 密实	0.5~15.5
⑨ <sub>1</sub>	全风化花岗岩	褐黄色, 湿, 硬塑(或密实)	0.5~5.5
⑨ <sub>2,1</sub>	砂土状强风化花岗岩	褐黄色, 湿, 密实	0.4~6.5

工程场地复杂, 各土层分布不均, 当选择预制打入桩时, 穿越上部碎石土层和基岩风化层困难较大; 当选择钻孔灌注桩时, 场地浅部分布松散碎石土层和砂土层, 采用灌注桩时, 钻孔孔壁容易坍塌, 对成桩工艺要求较高, 砂土层渗透系数较大, 与地表海水水力联系较强, 地下水的流动可能会受到海水涨落潮的影响, 对钻孔孔壁产生冲刷, 增加孔壁坍塌的可

能。设计从安全性、经济性、施工可行性、施工工期等方面综合考虑, 确定桩基础形式。

## 2 两种桩型基础设计

以维修辅助用房为例, 分别采用 PHC 桩、灌注桩(灌注桩分 3 种桩径设计)两种基础形式进行设计<sup>[1-3]</sup>。具体布置见图 1、2。

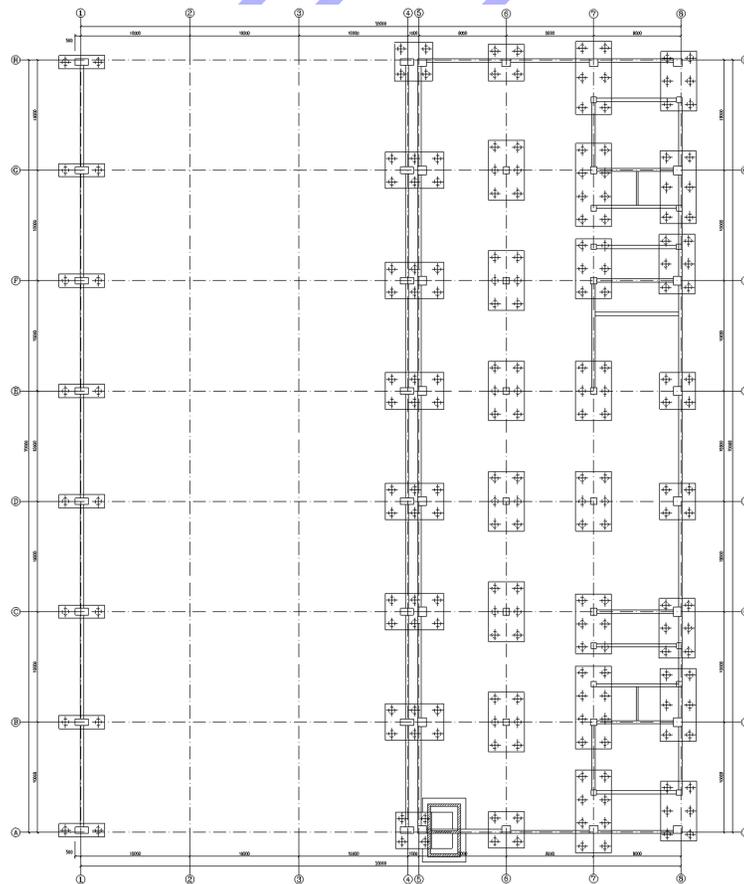


图 1 PHC 桩平面布置

Fig. 1 Layout plan of PHC piles

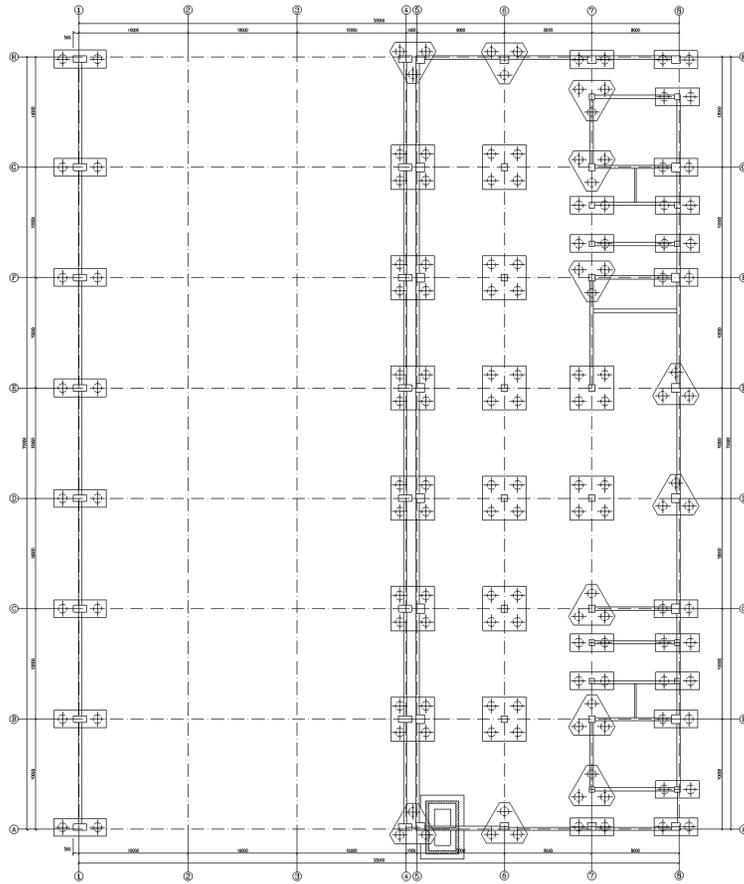


图 2 灌注桩平面布置

Fig. 2 Layout plan of cast-in-place piles

预制桩采用 PHC600 mm(壁厚 110 mm), 桩长 35 m, 单桩承载力特征值 920 kN, 总桩数 202 根。

灌注桩采用  $\phi 800$  mm、 $\phi 1\ 000$  mm、 $\phi 1\ 200$  mm 泥浆护壁钻孔灌注桩, 桩长分别为 35、38 m, 参数设计见表 2。

表 2 灌注桩参数设计

Tab. 2 Parameter design of cast-in-place piles

直径/mm	桩长/m	单桩承载力特征值/kN	总桩数/根
800	35	930	202
	38	1 300	144
1 000	35	1 230	143
	38	1 800	118
1 200	35	1 550	123
	38	2 300	112

### 3 桩基础经济性以及工期比选

预制桩采用 PHC600 mm(壁厚 110 mm), 考虑按桩单价 320 元/m, 打桩费用 30 元/m; 桩尖采用 A 形桩尖, 考虑按 400 元/个, 灌芯长度 1 m; 混凝土 700 元/m<sup>3</sup>(考虑灌芯底部托板费用), 钢筋 6 000 元/t。若考虑沉桩困难, 根据地质剖面, 按

照平均引孔 6 m 计, 引孔单价 350 元/m。

灌注桩采用  $\phi 800$  mm、 $\phi 1\ 000$  mm、 $\phi 1\ 200$  mm 泥浆护壁钻孔灌注桩, C40 混凝土单价暂按 650 元/m<sup>3</sup>考虑, 计入钻孔及护壁泥浆等费用时按 1 000 元/m<sup>3</sup>, 钢筋暂按 6 000 元/t 考虑。

根据《建筑安装工程工期定额》TY-89—2016<sup>[4]</sup>, 工程所有土建单体 PHC 桩总桩数为 202 根, 桩长 35 m 以内, 根据定额手册中的工期为 36 d。桩型比较结果见表 3。

表 3 桩型比较结果

Tab. 3 Comparison results of pile types

桩类型	桩长/ m	桩数/ 根	费用/ 万元	工期/ d
预制桩 PHC600 mm(壁厚 110 mm)	35	202	302	36
灌注桩 $\phi 800$ mm	35	202	519	43
灌注桩 $\phi 1\ 000$ mm	35	143	577	56
灌注桩 $\phi 1\ 200$ mm	35	123	681	77
灌注桩 $\phi 800$ mm	38	144	401	36
灌注桩 $\phi 1\ 000$ mm	38	118	515	56
灌注桩 $\phi 1\ 200$ mm	38	112	672	77

根据表3可知,从经济性、工期比选角度,选择预制桩合理可行。

#### 4 施工可行性分析

当选择打入桩,穿越 $\textcircled{3}_{21}$ 、 $\textcircled{3}_3$ 和 $\textcircled{3}_4$ 层进入持力层一定深度时,由于 $\textcircled{3}_{21}$ 、 $\textcircled{3}_3$ 和 $\textcircled{3}_4$ 层为中密-密实状中粗砂,沉桩较困难,当桩穿过 $\textcircled{3}$ 层进入残积土、基岩全风化、砂土状强风化层后沉桩将特别困难。

钻孔桩地层适应力强,成桩一般可行,应注意成桩过程中使用的泥浆对环境造成的影响,同时钻孔桩施工时若处理不当,易引起夹泥、缩颈等,降低成桩质量。钻孔桩达到预计持力层位置后及时进行检查,尽快进入下道施工工序,以免孔内全、强风化层或角砾岩中风化层浸泡软化,强度降低。

桩基施工工艺及设备的选择应根据土层情况、桩身结构强度、桩的承载力,并结合同类工程施工经验或试成桩情况确定,建议在不同地段进行不同类型的试桩。

根据地勘报告,维修辅助用房有12个孔点,各主要土层如 $\textcircled{3}_2$ 层灰色粉质黏土、 $\textcircled{3}_{21}$ 层灰色中粗砂、 $\textcircled{3}_3$ 层灰色中粗砂和 $\textcircled{3}_4$ 层褐黄-褐红色粉质黏土厚度分布相对均匀,大面积桩端持力层为 $\textcircled{3}_4$ 层褐黄-褐红色粉质黏土。12个孔点中有2个孔点 $\textcircled{3}_4$ 层褐黄-褐红色粉质黏土厚度为1.5 m,其他孔点厚度3.9~9.2 m,因此采用 $\textcircled{3}_4$ 褐黄-褐红色粉质黏土或 $\textcircled{8}_1$ 全风化角砾岩作为桩端持力层。 $\textcircled{3}_{21}$ 、 $\textcircled{3}_3$ 采用预制桩时沉桩将遇到较大困难,可能需要引孔。

根据地勘土层分布,进出港1#~3#闸口、前沿办公楼的持力层在中风化岩层,建议采用灌注桩。

工程前期先进行不同类型的试桩<sup>[5]</sup>,对闸口区进行9根灌注桩试桩<sup>[6]</sup>,主要存在以下问题:1)探笼器下放困难,难以达到成孔深度,见图3a);2)泥浆流失严重,取渣出现淤泥质土,钻进10 m深度时泥浆流失严重,重新加入膨润土,钻头拔

出依然没有泥浆悬挂,见图3b);3)混凝土浇筑充盈系数过大,平均充盈系数约为1.7;4)施工区域碎石混填土中分布块石,旋挖过程中发生钻头绕行、波动等现象,块石随钻头跟进,孔壁受到扰动,致成孔不规整,造成探笼卡笼现象,钢筋笼不能顺利安装。



a) 探笼



b) 泥浆流失

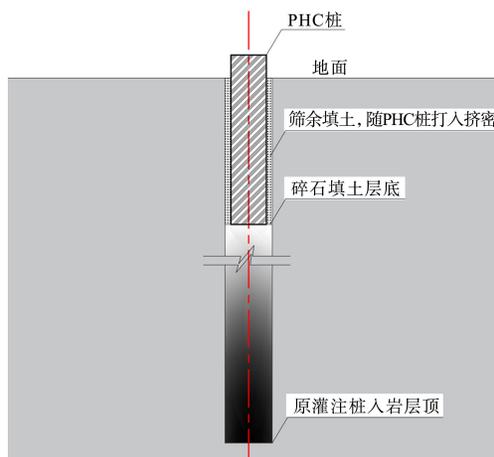
图3 探笼实景

Fig. 3 Real scene of exploration cage

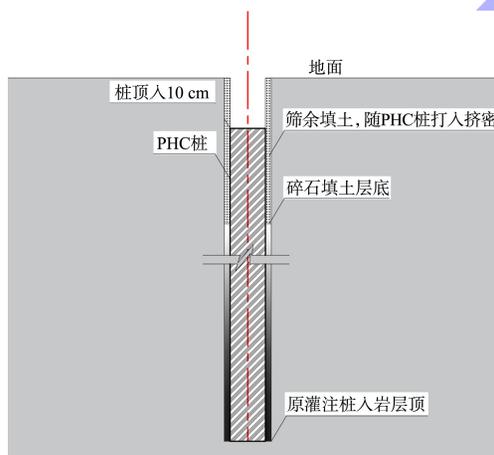
根据现场实际情况,建议采取10 m钢护筒、泥浆加强配置黏度系数达32 s(常规为18~28 s)等措施,仍出现异常情况,如卡笼、泥浆流失等,灌注桩难以顺利实施。整体来看,旋挖钻机成孔工艺不适应本工程地层状况。

当PHC桩端持力层以上的覆盖层含有难以贯穿的坚硬夹层时,应采用引孔辅助沉桩法<sup>[7-11]</sup>(图4),引孔深度根据现场实际情况确定。旋挖钻机钻进→穿透碎石填土层→完成引孔、排除孤

石工作→回填筛分后土料(防止溜桩,后续桩身挤密)→打桩机就位进行 PHC (PHC-600 (110) AB-C80) 桩沉桩施工。打桩以控制桩端设计高程为主,贯入度为辅,为防止桩身疲劳破坏,适当控制总锤击数。现场进行 9 根试桩沉桩良好,进行抗压静载试验,达到极限承载力要求。



a) 钻孔沉桩节点



b) 沉桩就位节点

图 4 植入式 PHC 桩工艺

Fig. 4 Implantable technology of PHC pile

## 5 结论

1) 从安全性角度, 预制桩和灌注桩均满足规范要求。

2) 从经济性以及工期比选角度, 预制桩费用比灌注桩少, 且工期短, 选择预制桩更合理。

3) 从施工可行性角度, 引孔植入 PHC 桩更可行, 为工程设计提供了宝贵的设计经验。

## 参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院. 建筑地基基础设计规范: GB 50007—2011 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.  
China Academy of Building Research. Code for design of building foundation: GB 50007-2011 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.
- [2] 中国建筑科学研究院. 建筑桩基技术规范: JGJ 94—2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.  
China Academy of Building Research. Technical Code for Building Pile Foundations: JGJ 94-2008 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008.
- [3] 广东省建筑设计研究院有限公司, 建华建材(中国)有限公司. 锤击式预应力混凝土管桩工程技术规程: DBJ/T 15-22—2021[S]. 广州: 广东省住房和城乡建设厅, 2021.  
Guangdong Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Jianhua Building Materials (China) Co., Ltd. Specification for Hammer-driven prestressed concrete pipe-pile engineering: DBJ/T 15-22-2021 [S]. Guangzhou: Department of Housing and Urban Rural Development of Guangdong Province, 2021.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑安装工程工期定额: TY-89—2016[S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Quota for construction Period of building installation projects: TY-89-2016 [S]. Beijing: China Planning Press, 2016.
- [5] 中国建筑科学研究院. 建筑基桩检测技术规范: JGJ 106—2014[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.  
China Academy of Building Research. Technical code for testing of building foundation piles: JGJ 106—2014 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [6] 姜正平, 明维, 周展钊, 等. PHC 管桩与钻孔灌注桩的分析与对比[J]. 混凝土与水泥制品, 2015(10): 39-43.  
JIANG Z P, MING W, ZHOU Z Z, et al. Analysis and comparison of PHC piles and cast-in-place bored piles[J]. China Concrete and Cement Products, 2015(10): 39-43.

(下转第 132 页)