

# 上海地区深古河道静压桩施工异常分析与对策

晏浩

上海建工集团股份有限公司, 上海

收稿日期: 2022年5月7日; 录用日期: 2022年5月21日; 发布日期: 2022年5月31日

## 摘要

进入深古河道地层的静压桩基础是上海地区常见的桩基础形式, 但在实践中常会遇到设计参数无法符合施工实际的情况。究其原因, 由于深古河道区域地层成因复杂, 会在工程尺度上呈现明显离散性, 由此导致依据地勘成果形成的设计参数与实际工况不吻合。本文以某项目的静压桩施工为例, 从勘察、设计、施工各方面对引起异常工况的可能原因做了分析, 并从施工角度提出合理的解决和优化方案, 对上海地区深古河道区域静压桩施工有一定借鉴意义。

## 关键词

深古河道, 静压桩, 施工异常, 离散性地质

# Analysis and Countermeasures of Construction of Press-in Pile Anomaly in Deep Ancient River Bed Area in Shanghai

Hao Yan

Shanghai Construction Group Co., Ltd., Shanghai

Received: May 7<sup>th</sup>, 2022; accepted: May 21<sup>st</sup>, 2022; published: May 31<sup>st</sup>, 2022

## Abstract

The press-in pile foundation entering the deep ancient river formation is a common form of pile foundation in Shanghai, but in practice, the design parameters can not conform to the actual construction situation. The reason is that because of the complex stratigraphic causes in the deep ancient river area, it will be obviously discrete on the engineering scale, and the design parameters formed according to the geological prospecting results are not consistent with the actual working conditions. This paper takes the construction of press-in piles in a project as an example, analyzes the possible causes of the abnormal working conditions from the survey, design and construction

parties, and puts forward a reasonable solution and optimization scheme from the perspective of construction, which has some reference significance for the construction of press-in piles in the deep ancient river area in Shanghai.

## Keywords

Deep Ancient River Bed, Press-in Piles, Construction Anomaly, Discrete Geology

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial International License (CC BY-NC 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

静压桩基础是上海地区常见的桩基工程形式。在实践中常会遇到桩基持力层进入深古河道地层区间的情况,即晚更新世末期(距今约 1.3 万~1.1 万年)形成的深古河道,其河流切割深度较大,沉积物较为复杂,而且几乎覆盖上海全域。工程地质界对其分区和工程地质特性有着跨越数十年的长期研究,高大铭等人[1]指出,由于古河道溺谷相沉积的基本单元层岩性结构、构造不同,加之层序组合不同,因此古河道溺谷相的沉积分异作用较大,致使各古河道溺谷相沉积的工程地质性质有明显差异。研究者将古河道溺谷相沉积划分成三大类型,并分别以样本区域工程引例对桩基持力层特性作了分析,给出若干参考数据,如在第一类型中,当桩尖进入⑤ 4 层或⑦层时,桩长仅相差 2.0 m,而单桩承载力增加了 30%,沉降量减少了 20%;在第二类型中则当桩尖深度从<30 m、30~40 m、>40 m 逐渐增大时,桩的承载力也有从以端承为主、到摩阻与端承力各半、再到以摩阻力为主的变化,等等。

需要说明的是,这些规律均为统计意义上的,其适用范围是城市级的宏观尺度,是较大的地理区域,给出的也是从当时样本区域总结的参考数值,带有研究性质。各类规范编制所参考的过往研究结论也在不断深入和更新,在工程中仍要结合实际勘察和试验成果。具体到项目级别的每一桩位,由于地质情况复杂多变,未必满足这些统计规律,反而有可能表现为工程级细观尺度上的离散性,导致桩基础设计参数无法符合施工实际的情况。近年来亦有学者如史玉金等[2]基于更大规模上的上海市三维城市地质调查的成果,对不同时期古河道的分布情况、切割深度、沉积物特征等进行研究并指出,古河道的分布范围与河流切割深度大不相同,晚更新世末期古河道切割深度大,使得⑦层的埋深、厚度发生较大变化,可能产生地基差异沉降,对桩基持力层的选择带来不利因素,这显然是指在工程级尺度上的变化和差异。因此,对深古河道区域地层的离散性对具体工程影响应有必要的认识。本文以背景工程案例,通过勘察、设计、施工多角度分析,对进入深古河道地层静压桩的施工异常问题进行探讨,尝试给出同类型工程问题较为全面的对策。

## 2. 工程概况

### 2.1. 项目背景

某工程项目,主体结构形式为桩基础钢框架中心支撑结构体系,主要采用预应力管桩,混凝土设计强度 C80,大部分区域桩型为 PHC500AB100 (设计桩长范围 43~48 m,桩基持力层为⑦ 2-1 或⑦ 2-2 粉砂),另有局部区域为 PHC400AB95 (设计桩长范围 32~33 m,桩基持力层为⑤ 3 粉质粘土夹粘质粉土),是上海地区静压桩基础的常见形式,持力层深度有一定代表性。

## 2.2. 勘察情况

该项目勘察孔平面布置根据现行规范规程要求，采用钻探取样、标准贯入、静力触探等综合手段，根据拟建物对单桩承载力的要求及场地地层条件确定勘察孔深度，孔深为 40~60 m，共布置 68 个主要勘察孔，其中取土标贯孔 25 个，静力触探孔 43 个。在勘察过程中发现拟建场地⑦ 2-1 层在场地西侧缺失，为查清缺失的界线，局部增加 8 个勘察孔[3]。勘探点位平面布置与桩位平面布置对比见图 1，地勘报告地层特性表见表 1。从图 1 左右平面对比中可见，勘探点位分布较疏，桩位分布较密，勘探点位能准确反映所有桩位实际情况的前提是，所在范围内下卧各地层地质条件均连续平滑，无明显离散性。

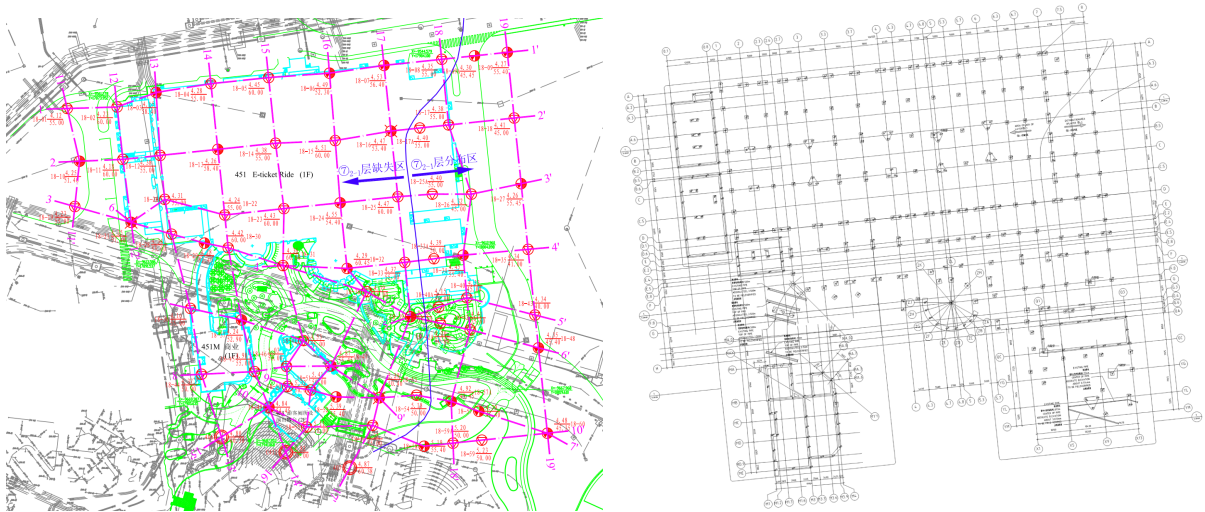
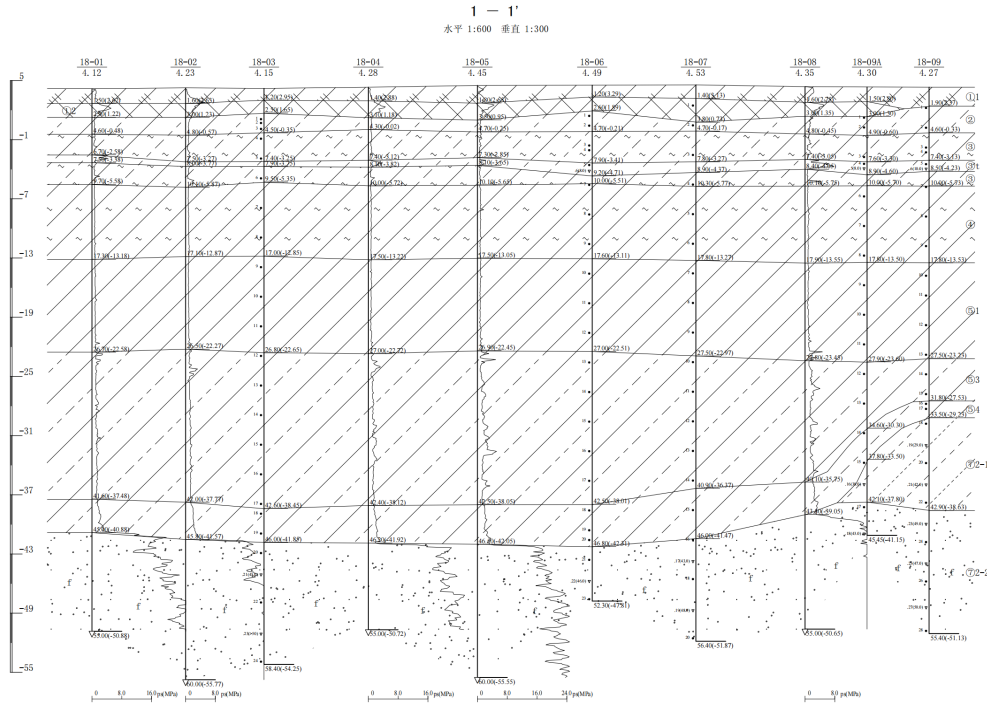


Figure 1. Layout plan of the exploration points (left) vs. plan of piles (right)  
图 1. 勘探点平面布置(左)与桩位平面布置(右)对比

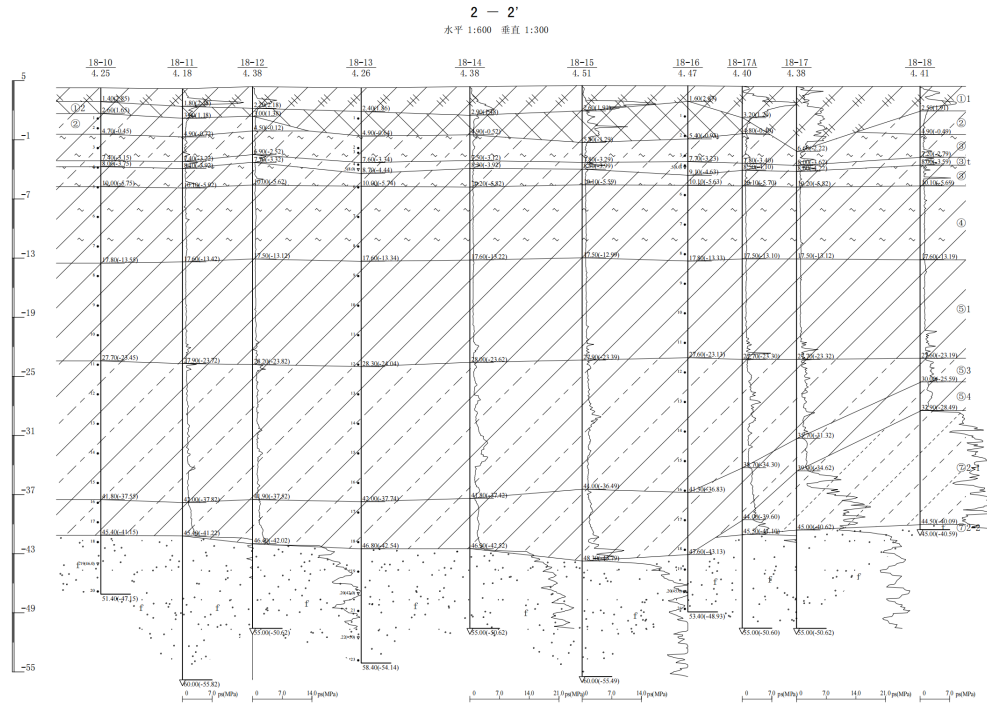
Table 1. Stratigraphic characteristics table of background project (Q3: late pleistocene, Q4: holocene)  
表 1. 背景工程地层特性表(Q3: 晚更新世, Q4: 全新世)

地质时代	土层层号	土层名称	层厚	层顶标高	成因类型
Q <sub>4</sub> <sup>3</sup>	① 1	杂填土	2.04 (0.80~6.60)	4.50 (5.41~3.96)	人工
	① 2	素填土	1.90 (0.50~3.80)	2.77 (4.39~0.62)	人工
	②	粉质粘土	1.84 (0.70~3.00)	1.57 (2.57~0.60)	滨海~河口
Q <sub>4</sub> <sup>2</sup>	③	淤泥质粉质粘土夹粘质粉土	2.25 (0.80~5.50)	-1.43 (1.02~-4.71)	滨海~浅海
	③ t	粘质粉土	1.21 (0.50~2.50)	-2.66 (-1.32~-3.62)	滨海~浅海
	④	淤泥质粘土	7.69 (6.20~9.60)	-5.53 (-4.11~-6.34)	滨海~浅海
Q <sub>4</sub> <sup>1</sup>	⑤ 1	粘土	10.12 (8.30~11.20)	-13.22 (-12.11~-15.20)	滨海~沼泽
	⑤ 3	粉质粘土夹粘质粉土	11.08 (0.90~15.80)	-23.34 (-22.27~-24.34)	溺谷
	⑤ 4	粉质粘土	4.53 (1.70~7.30)	-34.42 (-24.72~-38.45)	溺谷
Q <sub>3</sub> <sup>2</sup>	⑦ 2-1	砂质粉土	5.47 (1.30~11.60)	-33.58 (-28.12~-41.20)	河口~滨海
	⑦ 2-2	粉砂	未钻穿	-41.14 (-35.52~-44.01)	河口~滨海

典型地质剖面图如图 2 所示(以图 1 中横跨东西方向的 1-1'、2-2'、3-3'、6-6'剖面为例)。场地西侧(左侧)为古河道区, ⑤ 3、⑤ 4 层为溺谷沉积, 西侧大部分区域⑦ 2-1 层缺失, 东侧局部有⑦ 2-1 层分布。图中可见, 在本项目范围作为主要桩型持力层的深古河道区间即⑦层地层, 即使假定其变化以简单折线在勘探孔之间过渡, 不同剖面间的地层条件仍有明显差异。



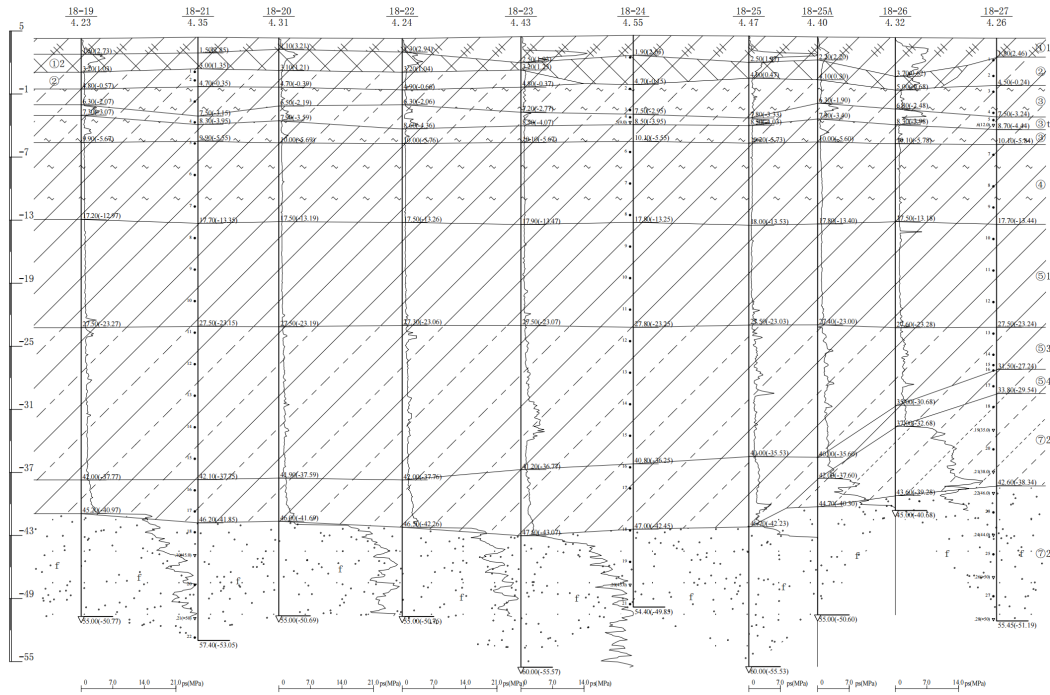
(1) 1-1'剖面



(2) 2-2'剖面

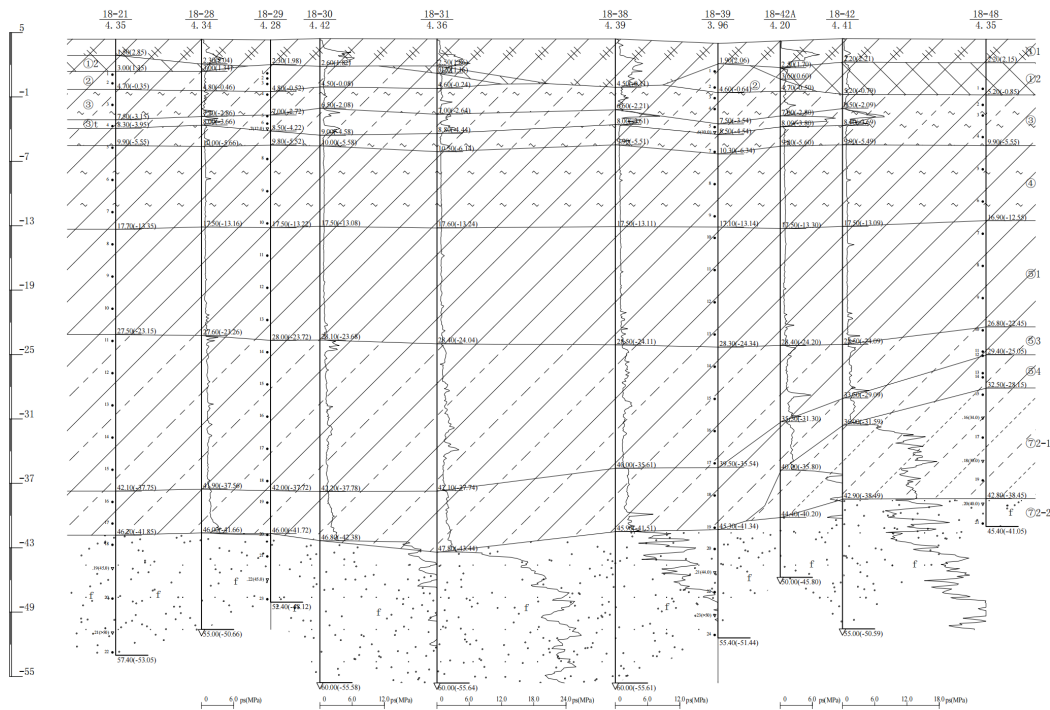


3 - 3'  
水平 1:600 垂直 1:300



(3) 3-3'剖面

6 - 6'  
水平 1:600 垂直 1:300



(4) 6-6'剖面

Figure 2. Typical geological profile of background project  
图2. 背景工程典型地质剖面图

### 2.3. 设计要求

根据设计要求，沉桩采用桩长和贯入度(终压值)双重控制原则，确保桩端进入持力层不小于 0.8 m。在存在⑦ 2-1 层的区域，按设计桩长穿越该层达到持力层，可能造成压桩困难，当压桩力达到 4300 kN 并且已经进入持力层不少于 1 m 时，可现场部分截桩。

### 3. 桩基施工异常与对策

#### 3.1. 试桩情况

开工后首先按原设计终压值和桩长参数完成三根试桩，当终压值达到设计指标时，仍存在标高显著欠压，欠压高度分别为 5.64 m、1.70 m、0.5 m，其中欠压 5.64 m 的试桩位于东侧有⑦ 2-1 层分布的区域。经低应变检测、静载试验，所有试桩均为 I 类桩。试桩经静载试验合格。为找出产生显著异常欠压的原因，保证后续桩基施工质量，确定了以下思路和处理流程(图 3)：

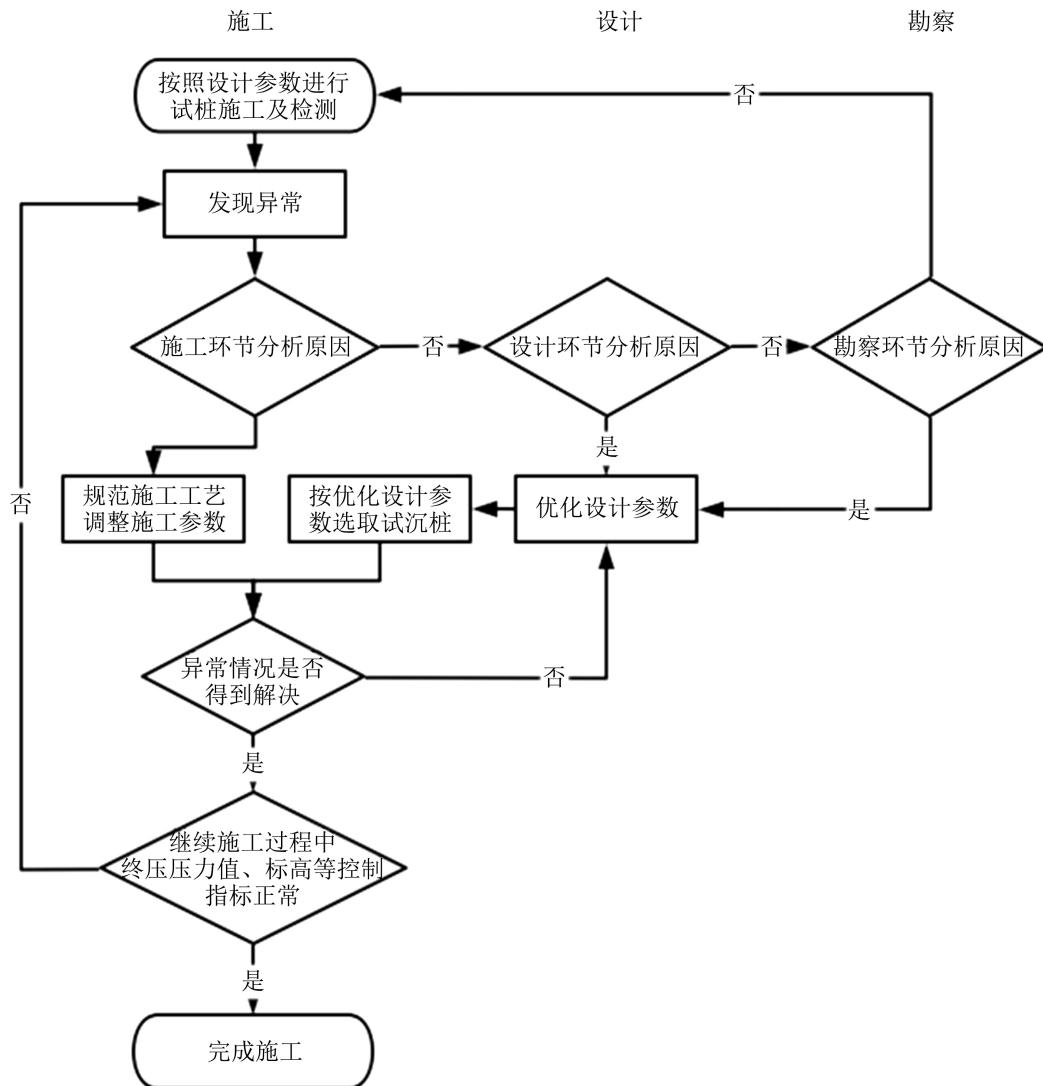


Figure 3. Process of abnormal treatment scheme of press-in pile construction  
图 3. 静压桩施工异常处理方案流程

### 3.2. 排查施工因素干扰项

考虑到三根试桩在场内分散分布,初步判断后续沉桩欠压情况有可能多发,为排除由于施工不规范造成沉桩异常的因素,重点加强了以下施工环节管理:

- 校正压桩机压力表,增加配重余量,调整夹具,检查施工时的垂直度、压桩速率、稳压措施等是否满足要求;
- 合理安排桩机行进路线,通过改变各承台沉桩顺序、间隔沉桩等,避免挤土效应;
- 对管桩桩身质量进行检查,确保符合规范要求。

在随后的 51 根同型桩施工中,共发生标高欠压、突然失压或(疑似)爆桩等异常情况 46 根,加上 3 根发生欠压的试桩,异常桩共 49 根,占同型已沉桩总数 91%,异常桩比例很高,总体分布均匀分散,详见图 4 (红色为异常桩,绿色为正常桩)。其中欠压超过 1 m (设计建议进入持力层所需深度)有 44 根,占异常桩总数 90%;说明异常桩中桩长参数对原设计值偏离也是比较大的。

在此情况下,仍然出现高比例的异常桩,可以确定沉桩异常并非施工设备、工艺等原因造成。

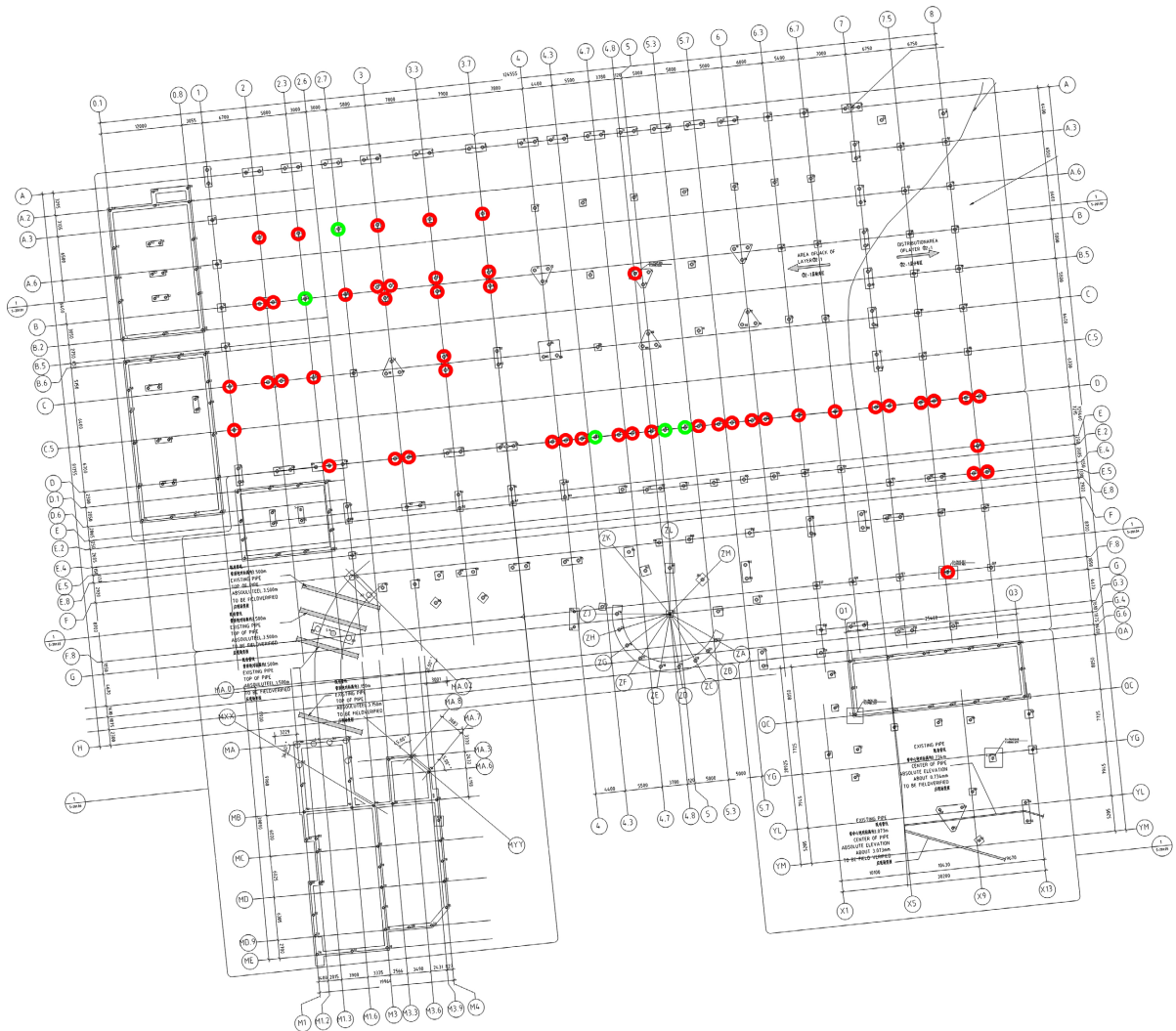


Figure 4. Abnormal piles in the process (red is abnormal, green is normal)

图 4. 过程中的异常桩情况(红色为异常,绿色为正常)

### 3.3. 设计、勘察角度分析与改进方案

鉴于在排除施工因素后仍有高比例异常桩，进一步从设计、勘察角度分析：

- 结合地勘剖面图看欠压标高数据，即使在同一承台的相邻桩内，欠压高度也存在较大差异，表明在古河道深度区间的下卧土层并非理想的连续状态，在工程尺度上离散性明显，地勘数据应不足以准确反映桩位地层情况。
- 根据国标设计图集[4]，管桩用作摩擦型桩时，其长径比不宜大于 100；用作端承型桩时，其长径比不宜大于 80；实际设计长径比达到 96，已接近规范的长径比上限，留给施工环节的冗余度较小，放大了不利因素。
- 实际施工中也对部分桩采取了适当提高终压值的措施，但对标高欠压无改善，而且造成个别桩端爆裂或失压。考虑终压控制值 4300 kN 已经达到该桩型轴心受压承载力设计值 3158 kN 的 1.3 倍以上，说明持续提高终压值不仅对沉桩异常没有改善，还可能对桩体本身造成不利影响。

根据地基基础施工规范[5]：静压桩终压的控制标准应以标高为主，压力为辅。综合考虑上述因素，提出设计参数的两个优化方向：

- 终压控制值不变，管桩壁厚从 100 mm 增加到 125 mm 以提高桩身承载力，分为两种选项：a) 全长范围增加壁厚；b) 每根桩最末一节配桩增加壁厚。
- 请设计会同地勘复核，在保证承载力的情况下适当减少桩长或降低终压控制值。

经各方评估，达成以下方案共识：

- 1) 选择五处不同承台各 1 套做为方案试沉桩，全长范围均使用 PHC500AB125，设计桩长不变，终压压力控制值增至 4700 Kn (按 125 壁厚桩型轴心受压承载力设计值推算)，看能否改善欠压情况。
- 2) 如欠压仍无明显改善，则调整设计桩长，可联合调整每根桩头节配桩壁厚。

### 3.4. 方案实施效果

选择五处相距较远的桩做为试沉桩，保证试沉桩在场地范围基本均布，并兼顾桩机行走效率，见图 5 (蓝色圆点)所示。邻近已沉桩用红色圆点标记。

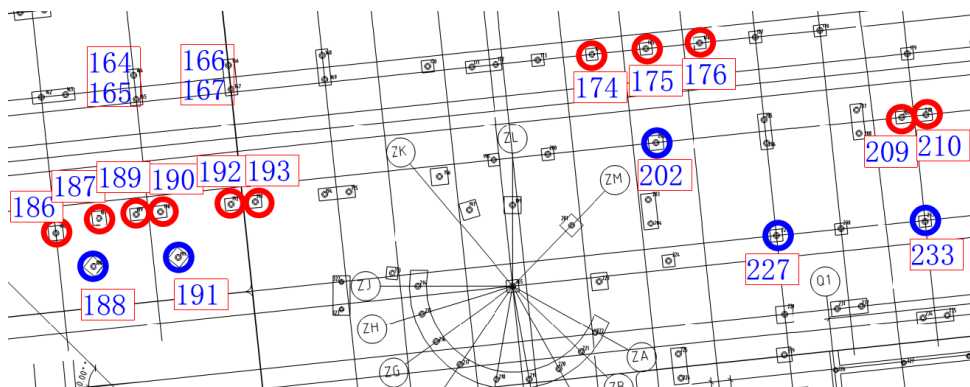


Figure 5. Position of experimental pile with optimized scheme

图 5. 采用优化方案的试沉桩平面位置

以不同颜色表示静压桩欠压高度所在区间，试沉桩以箭头标出，见图 6。图中可见，采用调整方案的试沉桩与邻近已沉桩相比，异常欠压状况基本相当。可以认为，增加桩身壁厚、提高终压压力值的措施无法改善异常欠压情况。

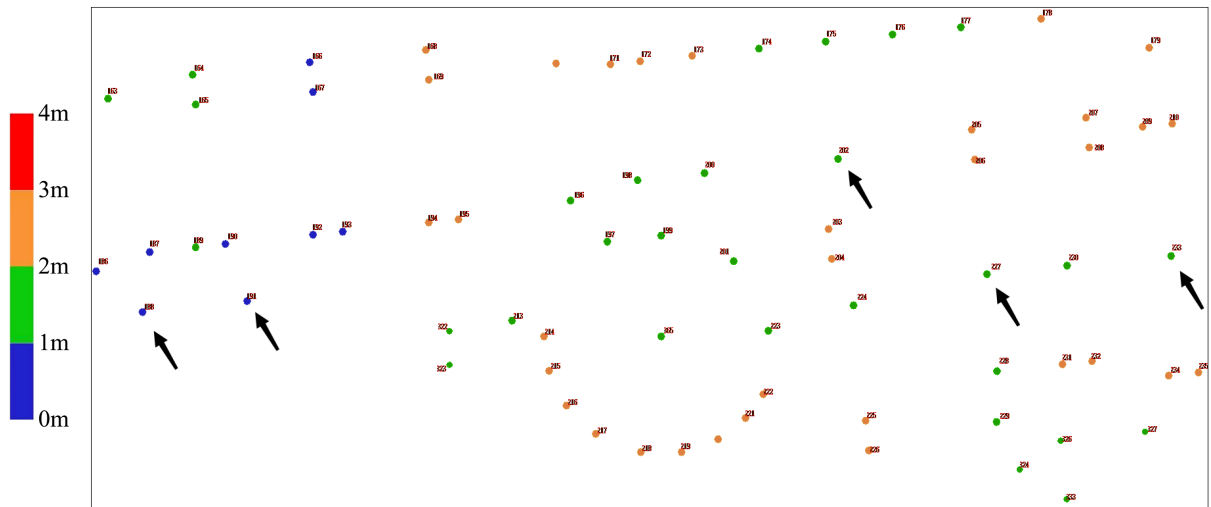


Figure 6. Comparison of under pressure of test pile and adjacent completed piles  
图 6. 试沉桩与邻近已沉桩欠压情况对比

据此，设计方采纳施工方建议，结合施工数据对桩尖标高重新计算优化，减少设计桩长。从最终完成情况看，持力层进入深古河道⑦ 1、⑦ 2 层的主要桩型 PHC500AB100 仅有 42 根达到设计标高，有 82.6%的桩异常欠压，欠压值范围 0~5.64 m，平均欠压高度 1.15 m。从图 7 的桩基 BIM 模型中看出，欠压情况无明显分布规律，说明工程范围内深古河道区间土层特性有较大的离散性，在地勘报告中未能全面反映。而持力层主要为⑤ 3 层的另一桩型 PHC400AB95，均按原设计参数顺利完成施工，说明该层地质条件相对均匀，这也与地勘报告成果基本相符。

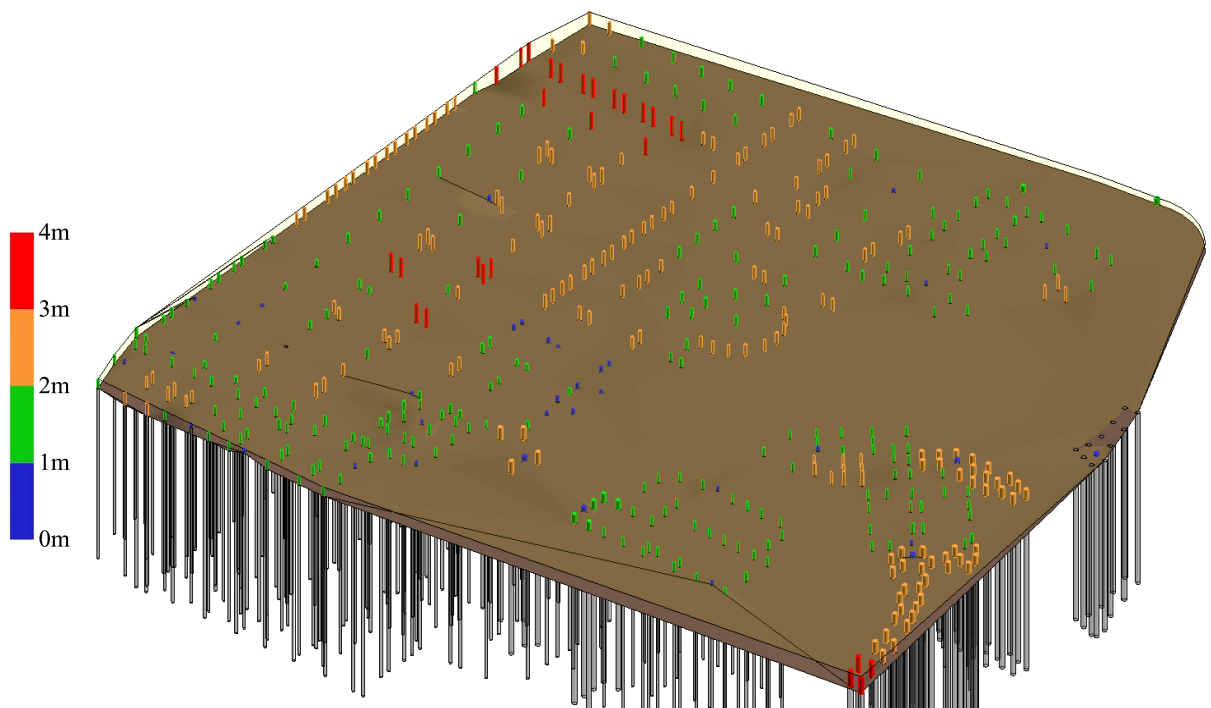


Figure 7. 3D model analysis of abnormal under pressure of pile foundation  
图 7. 桩基异常欠压情况三维模型分析



## 4. 结语

地勘成果能否在工程尺度上准确反映地层分布和土性情况,对地基基础工程的设计、施工均有直接影响。由于上海陆域地区晚更新世、全新世古地理环境复杂,沉积分异剧烈,在此时期形成的深古河道地层区间复杂多变。地勘工作的基础是假定在相邻勘察点位之间地层连续,因此当勘察点位密度不足时,依托连续性假定数据进行的设计就可能无法反映实际,进而影响施工。

本文分析结论表明,静压桩穿越⑤ 3、⑤ 4层溺谷沉积进入⑦层深古河道区间,该区间地层存在工程尺度上的显著离散性地质条件,是造成深古河道区域静压桩施工异常的主要原因。在实践中,出于建设成本和工期考虑,无法对所有桩位地层条件逐一探明。因此当出现施工异常时,可参考本文提出的分析方法处理流程,从施工、设计、勘察多角度查明原因,并侧重从工程实际出发,以优化设计参数为主,提出能够快速实施的整体解决方案。

## 参考文献

- [1] 高大铭,陈振荣,吕全荣.上海陆域地区古河道溺谷相沉积层工程地质特征研究[J].上海地质,1998(4):11-21.
- [2] 史玉金.上海陆域古河道分布及对工程建设影响研究[J].工程地质学报,2011,19(2):277-283.
- [3] 中船勘察设计研究院有限公司.岩土工程勘察报告(工程编号18-113-1)[R].2018.
- [4] 中国建筑标准设计研究院.国家建筑标准设计图集:预应力混凝土管桩[M].北京:中国计划出版社,2010:8-16.
- [5] 范庆国,李耀良,袁芬,等.GB51004-2015.建筑地基基础工程施工规范[S].北京:中国计划出版社,2015.