

古河道沉积地层下桩基方案的选择

梅华真

上海汇谷岩土工程技术有限公司 上海 201108

摘要: 桩基工程虽为地下隐蔽工程,但桩基部分为建筑工程地下核心部分,勘察工程师应引起足够重视,在力求揭露出实际沉积的地质前提下,为各方提供合理的桩基设计建议,提高桩基工程的质量以提升整体工程质量。切不可简单粗暴硬拉平桩基持力层标高或计算参数,造成不必要的成本浪费,更甚者导致桩基工程质量事故。

本文根据实际工程案例,根据勘察揭露的地层情况,通过进一步查明复杂区域的地质边界,结合工程运用对地质条件进行分区,考虑单桩承载力发挥、沉桩可行性及经济性因素,推荐适宜的工前试桩方案,对于沉桩阻力高值区域可提高沉桩可行性,降低因沉桩困难带来的工程质量风险及不良的经济效益;对于沉桩阻力低值区域,降低承载力不满足要求的风险。通过工前试桩结果优化后续工程桩设计施工,为项目的桩基工程打下牢固的基础。

关键词: 岩土工程; 桩基持力层; 沉桩可行性; 单桩承载力; 工前试桩

Selection of pile foundation scheme under ancient river sedimentary strata

Huazhen Mei

Shanghai Huigu Geotechnical Engineering Technology Co., Ltd. Shanghai 201108

Abstract: Although the pile foundation engineering is underground concealed engineering, but the pile foundation part is the underground core part of the construction engineering, the investigation engineer should cause enough attention, in the premise to expose the actual deposition, to provide reasonable pile foundation design suggestions for all parties, improve the quality of pile foundation engineering to improve the overall quality of the project. Must not be simply and rough hard leveling pile foundation holding layer elevation or calculation parameters, resulting in unnecessary cost waste, and even lead to pile foundation engineering quality accidents.

According to the actual engineering cases, according to the strata situation revealed by investigation, by further identifying the geological boundary of complex areas, combining with engineering application, considering the single pile bearing capacity, feasibility and economic factors, recommend the feasibility of pile sinking, reduce the engineering quality risk and poor economic benefits; for the low bearing capacity of pile sinking resistance, the risk of bearing capacity can be reduced. The follow-up pile design and construction are optimized through the pre-construction pile test results to lay a solid foundation for the pile foundation engineering of the project.

Keywords: Geotechnical engineering; Pile foundation holding layer; Pile sinking feasibility; Single pile bearing capacity; Pre-construction pile test pile

一、概述

岩土工程为一门综合性较强学科,勘察工程师需秉承求真务实的工作态度,持开放的专业思想,对工程勘察项目采取针对性的勘探手段,以反应出真实的工程地质条件,为设计施工提供真实、可靠的依据,并提出正确的结论及合理的建议。

上海为软土地区,桩基持力层通常采用第⑦层粉(砂)土层。桩基方案设计时,应综合地质条件、市场管桩的桩身质量及沉桩施工的工艺水平,建议合理的桩端标高及桩型。当遇地质条件复杂区域,应综合工程运用,进一步查清地层的分布情况,忌不可人为拉平地层,拉平桩基设计参数,导致桩基参数过于保守、发生沉桩

困难的现象。工程需要时，可提出合理的工前试桩方案，为后续提供可靠的设计依据。

二、项目背景

1. 项目概况

某地块项目拟建建筑物为14幢8层中高层住宅，23幢3层别墅，一处地下车库及配套用房。其中8层中高层住宅采用框剪结构，桩基础，基底荷载为150kPa，设计单桩竖向承载力诉求约1000kN；3层别墅采用框架结构，桩基础，基底荷载为75kPa，设计单桩竖向承载力诉求约750kN。

2. 场地工程地质条件

根据勘察结果，本场地的地质条件如下：

第①₁₋₁层为杂填土，土质不均匀，含碎石砖块，夹黏性土。

第①₁₋₂层为素填土，土质不均匀，以黏性土为主，含植物根茎和有机质。

第②层为粉质黏土，灰黄~兰灰色，土质均匀，含少量有机质，可塑~软塑，高等~中等压缩性。

第③层为粉质黏土，土质均匀，软塑~流塑，高等压缩性。局部为淤泥质粉质黏土。

第④₁层为黏土，土质均匀，软塑~流塑，高等压缩性。

第④₂层为砂质粉土夹粉质黏土，土质尚均匀，稍密，夹薄层粉质黏土，局部范围下部粉性较大，中等压缩性。

第⑤₁层为粉质黏土，土质均匀，软塑，中等~高等压缩性。

第⑤₂层为砂质粉土，土质尚均匀，中密，中等压缩性。

第⑤₃层为粉质黏土夹砂质粉土，土质尚均匀，软塑~可塑，中等压缩性。

第⑥层粉质黏土，土质均匀，硬塑~可塑，中等压缩性。

第⑦层根据土性差异可分为⑦₁₋₁层、⑦₁₋₂层、⑦₂层、⑦₂₁层。

第⑦₁₋₁层为砂质粉土，土质均匀，稍密~中密，中等压缩性。本场地范围内该层土性略有差异。

本场地属湖沼平原 I₂区地貌单元，临近上海市三大地貌（滨海平原、湖沼平原 I₁区、湖沼平原 I₂区）交汇处，因此本场地工程地质条件异常复杂。因第⑦₁₋₁层为拟建建筑物的首选目标持力层，故根据是否沉积了第⑦₁₋₁层及第⑦₁₋₁层的比贯入阻力 Ps 值大小将场地进行

地质分区，可分为A、B、C区，其中A区分为A1及A2两个亚区，各地质区地层特点如下：

A区：为正常沉积土层区域且30m以浅范围未分布有第⑤₂层中密的砂质粉土层，该地质区域桩基持力层第⑦₁₋₁层离散较大，离散主要变现为层顶埋深、层厚及密实度，为更准确的提供桩基参数供设计运用，避免因人为因素拉平桩基计算参数，根据第⑦₁₋₁层砂质粉土的密实性及静力触探 Ps 平均值大小，将工程地质A区分为2个亚区，分别为A1区、A2区，其中A1区静力触探 Ps 平均值较A2区大。

B区：为正常沉积土层区域且30m以浅范围分布有第⑤₂层中密的砂质粉土层，第⑦₁₋₁层的静力触探 Ps 平均值较A区大，较为密实。

C区：为古河道区域，该区域因沉积了较厚的第⑤₃层软塑状态的粉质黏土，且第⑦₁₋₁层缺失。

各地质区域内第⑦₁₋₁层分布的具体表现为：A1区范围⑦₁₋₁层的 Ps 值大小为3.91MPa~8.42MPa，平均值为5.01MPa，分布在场址西北部及西部；A2区范围⑦₁₋₁层的 Ps 值大小为3.25MPa~5.56MPa，平均值为4.00MPa，分布在场址东北部；B区范围第⑦₁₋₁层的 Ps 值大小为4.49MPa~10.69MPa，平均值为6.05MPa，主要分布在场址中部及西南部。

三、桩基持力层及桩型的选择

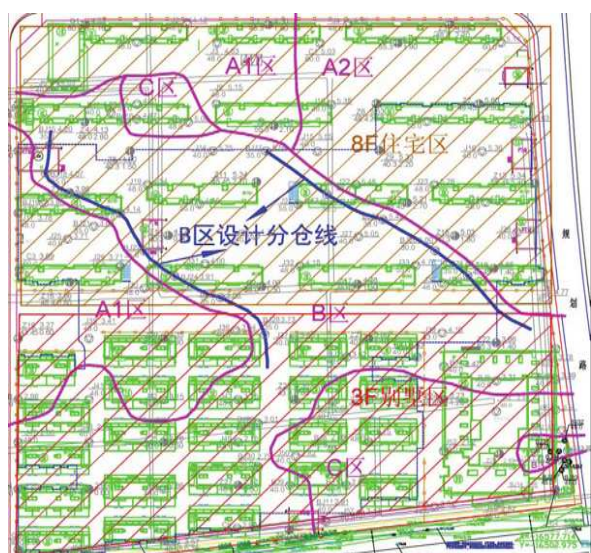
鉴于本工程地质条件非常复杂，为查明上述4个地址单元分区边界，以建筑物为单体均采用测斜静力触探进行逐一增加静力触探测试，为桩基分仓设计提供准确的地质条件依据，并根据承载力发挥不利原则，在A1、A2与B区划分桩基设计分仓线。同时根据第⑦₁₋₁层的沉积情况（主要考虑密实度状态），进行差异化提供桩基设计参数，具体如下表。

层序	土层名称	比贯入阻力值 Ps (MPa)	预制桩 fs (kPa)	预制桩 fp (kPa)
⑦ ₁₋₁	砂质粉土	A1区：3.91MPa~8.42MPa 平均值5.01MPa	A1区： 70	A1区： 4000
		A2区：3.25MPa~5.56MPa 平均值4.00MPa	A2区： 60	A2区： 2500
		B区：4.49MPa~10.69MPa 平均值6.05MPa	B区： 75	B区： 4500

各地质分区及B区桩基设计分仓线如下图所示：

根据各拟建建筑物的单桩竖向承载力诉求，结合沉桩可行性及经济性因素，按地质分区推荐各区域桩端标高分别如下：

A1区：未分布有第⑤₂层，桩基持力层为第⑦₁₋₁层，



对于8层住宅，桩端标高在-30.0m左右。对于3层别墅，桩端标高在-26.0m左右。桩型均可采用Φ400mmPHC管桩。

A2区：未分布有第⑤₂层，桩基持力层为第⑦₁₋₁层，对于8层住宅，桩端标高在-30.0m左右。桩型均可采用Φ400mmPHC管桩。该区域无3层别墅。

B区：分布有第⑤₂层，对于8层住宅及3层别墅，当桩基持力层为第⑦₁₋₁层时，该区域预制桩须穿过第⑤₂层进入第⑦₁₋₁层，沉桩阻力较大，桩端标高不应过深，宜在-26.0m左右。桩型均可采用Φ400mmPHC管桩。

C区：第⑦₁₋₁层缺失，分布有第⑤₂层及较厚的第⑤₃层，对于8层住宅，以第⑦₂层为桩基持力层，桩端标高为-31.0m左右。对于3层别墅，以第⑤₃层为桩基持力层，桩端标高为-26.0m左右。桩型均可采用Φ400mmPHC管桩。

四、工前试桩方案建议

1) 对于拟建8层住宅，单桩荷载需求较高，单桩竖向承载力设计值约1000kN，位于A1、A2、B、C区4个地质单元内。虽已根据持力层第⑦₁₋₁层的分布及状态进行了地质分区，并根据不同地质区域提供了不同的桩基参数，但针对各区内仍需分开考虑各区域内的疑难问题。

对于A1、A2区，桩基持力层为第⑦₁₋₁层，受多次古河道切割影响，第⑦₁₋₁层沉积状态不均匀，桩基方案需考虑避免承载力不足的风险。对于B区（浅部分布有中密状的第⑤₂层砂质粉土，持力层为⑦₁₋₁）及C区（持力层为⑦₂层），在满足承载力的同时需重点考虑沉桩可行性。

2) 对于别墅：单桩荷载需求一般，单桩竖向承载力设计值为750kN，位于A1、B、C区3个地质单元内。对

于C区，桩基持力层为⑤₃层粉质黏土，根据地区经验，当以第⑤₃层为桩基持力层时，因第⑤₃层为软塑的黏性土，且具有一定的离散性（局部含不同厚度及密实度的粉性土），单桩承载力受桩周土体休止期及桩长影响较大，故宜进行工前试桩静载荷试验以确定承载力，避免单桩竖向承载力不足的风险。

基于上述原则，对各区区内建筑物工前试桩应重点解决的问题汇总如下表：

单体名称	单体所属地质分区	桩基持力层	桩基工程的重点问题
8层住宅	单独位于A1区、A2区或跨越A1区、A2区	⑦ ₁₋₁	单桩荷载需求较高，需降低承载力不足风险。
	B区	⑦ ₁₋₁	沉桩阻力非常大，需确保沉桩可行性，避免施工过程中桩身结构损坏。
	跨越A1（A2）、B区	⑦ ₁₋₁	需按最不利原则分仓设计，A1（A2）区降低承载力不足风险，B区提高沉桩可行性。
	跨越B、C区	B区：⑦ ₁₋₁ 、C区：⑦ ₂	需按最不利原则分仓设计，需确保沉桩可行性，避免施工过程中桩身构件损坏。
3层别墅	单独位于A1、B区	⑦ ₁₋₁	单桩荷载需求一般，按传统设计即可。
	跨越B、C区	B区：⑦ ₁₋₁ 、C区：⑤ ₃	降低C区承载力不足风险。
	C区	⑤ ₃	降低C区承载力不足风险。

鉴于以上分析内容，本工程建议进行工前试桩，其指导思想如下：

1) 布设工前试桩（兼作工程桩，试桩结果亦用于工程桩承载力验收）进行破坏性静载荷试验，以测得土体极限承载力真值；不同地质区工前试桩数为总桩数的5%且不少于3根。

2) 试桩过程中，实时跟踪沉桩压力，根据实测压桩力判断沉桩可行性并预估承载力能否满足要求。

3) 试桩数量、试桩位置选择原则

a) 选择各区承载力发挥最小位置。以桩端入土深度与桩端持力层土性（比贯入阻力），采用二者相乘最小法选择承载力发挥最小位置，确定为抗压试桩位置。

b) 8F住宅：涉及A1、A2、B、C区，试桩数量在各区域分别考虑，且每栋建筑物下各布设1根试桩。3F别墅：涉及A1、B、C区，其中A1、B区试桩数量与8F住

宅合并考虑，C区单独考虑。

4) 沉桩可行性桩：场地范围内局部第⑤₂层砂质粉土较为密实，且厚度较大，为分析沉桩可行性，以桩端入土深度与桩端持力层土性（比贯入阻力），采用二者相乘最大法选择承载力发挥最大（沉桩阻力最大）位置选为沉桩可行性桩，以论证不利条件下的沉桩可行性，该桩亦可作为备用试桩。

5) 工前试桩目标：

a) 通过试沉桩校核工程地质条件。

b) 对于沉桩阻力较小、承载力发挥较低的区，降低承载力不满足要求的风险。论证不利条件下（沉桩阻力较大区）的沉桩可行性。

c) 确定施工参数，固化施工工艺、提炼施工要点。

d) 在试沉桩施工过程中，分析压桩力及桩端进入桩端持力层关系，结合住宅、别墅单桩竖向抗压目标承载力值，进行动态干预、调整桩基设计。

e) 通过试沉桩并实测单桩竖向抗压极限承载力，为桩基优化设计提供技术依据。

五、工前桩基优化实施及结果

1. 工前试桩沉桩施工

1) 桩材品质控制：必须注意桩材质量，考虑B区及C区（8层住宅范围）的试桩终压力较高，故应采购主流厂家产品，高压蒸养务必须符合要求。

2) 施工流水：别墅C区（试桩所需休止期相对较

长）—洋房A2区—洋房A1区SZ1—正常施工。

3) 终压条件：

a) 位于A区的8层住宅，因承载力有一定风险，故考虑桩端需达至设计标高且终压力基本不小于1350kN，双向满足，否则有可能考虑继续将桩端下送。

b) 位于C区的8层住宅，考虑桩端进入第⑦₂层后桩压力急剧上升，为保证承载力的发挥并确保桩身结构完整，终压条件二选一：达至设计标高且终压力不超过2800kN或已入⑦₂层粉砂但终压力已达2800kN。

c) 位于C区的3层别墅，因承载力有一定风险，故考虑桩端需达至设计标高且终压力基本不小于800kN，双向满足，否则有可能考虑继续将桩端下送。

d) 位于B区8层住宅，需提高沉桩可行性问题，终压条件二选一达至设计标高且终压力不超过2800kN或已入持力层但终压力已达2800kN。

4) 沉桩过程中，配置对讲机，实时记录每米压桩力，在入土最后5m深度时，需加密按每0.5m记录压桩力。同时委派工程师参与现场管理，实时接收信息反馈，并参与动态决策。

5) 沉桩完成后于当日完成已施工桩的终压力~比贯入阻力匹配分析，以完成二者之间的相互检核，并为动态决策提供依据。

2. 工前试桩优化结果

工前试桩经静载荷试验，检测结果如下表：

统计单元	单体	桩号	试桩实际桩端标高 (m)	地质分区	试桩抗压极限承载力 (kN)	试桩极限承载力试验统计值 R_{kt} (kN) / 工程桩抗压承载力设计值 R_d (kN)	建议工程桩抗压承载力设计值 (kN)
一	住宅	SZ1-1#	-29.2	A1区	< 2700	2540 / > 1360 分项系数取1.8，接高段侧阻按80kN	> 1360
		SZ1-2#	-29.2		2430		
		SZ1-5#	-29.2		2565		
		SZ1-8#	-29.6		< 2700		
		SZ1-11#	-29.6		2430		
		SZ1-12#	-29.6		2430		
二	住宅	SZ1-3#	-29.2	A2区	2430	2460 / > 1320 分项系数取1.8，接高段侧阻按80kN	> 1320
		SZ1-4#	-29.2		2430		
		SZ1-6#	-29.2		2430		
		SZ1-7#	-29.6		2565		
		SZ1-9#	-29.6		2430		
		SZ1-10#	-29.6		2430		
		SZ1-13#	-29.6		2565		

统计单元	单体	桩号	试桩实际桩端标高 (m)	地质分区	试桩抗压极限承载力 (kN)	试桩极限承载力试验统计值 R_{ki} (kN) / 工程桩抗压承载力设计值 R_d (kN)	建议工程桩抗压承载力设计值 (kN)
五	住宅/ 别墅	SZ2-1#	-25.6	B区	2565	2580/ \geq 1390 分项系数取1.8, 接高段侧阻按80kN	\geq 1390
		SZ2-2#	-25.6		\leq 2700		
		SZ2-3#	-25.6		\leq 2700		
		SZ2-4#	-25.6		\leq 2700		
		SZ5-6#	-25.6		2430		
		SZ5-7#	-25.6		2430		
四	住宅	SZ4-1#	-29.6	C区	\leq 2880	2688/ \geq 1440 分项系数1.8, 接高段侧阻按80kN	\geq 1440
		SZ4-2#	-31.35		2592		
		SZ4-3#	-31.35		2592		
六	别墅	SZ5-4#	-25.6	A1区	1716	1650/ \geq 870 分项系数取1.8, 接高段侧阻按80kN	\geq 870
		SZ5-5#	-25.4		\leq 1560		
		SZ5-1#	-25.8		\leq 1560		
		SZ5-2#	-25.8		\leq 1872		
		SZ5-3#	-25.8		\leq 1560		
七	别墅	SZ5a-1#	-26.4	C区	\leq 1560	1612/ \geq 850 分项系数取1.8, 接高段侧阻按80kN	\geq 850
		SZ5a-2#	-26.4		1716		
		SZ5a-3#	-26.4		\leq 1560		

据上表统计结果,对于住宅及别墅工前试桩的单桩竖向承载力结果均达到预期效果,为桩基优化设计提供了准确的依据。

六、结语

桩基为工程之根本,合理的桩基方案可获得良好的社会及经济效益。

桩基方案,简言之确定为桩型、桩径及桩长等参数,并在此基础上具有沉桩可行性、同时满足设计承载力及沉降之要求,在方案比选阶段,必须秉承开放的思维,在后续实践运用中应秉承收缩和控制思维,合理管

控工程风险。作为一名合格的工程师,应不断的总结工程经验,将勘察、设计、施工相结合,降低桩基工程技术风险,提高工程质量,以推动岩土工程的车轮向前发展。

参考文献:

- [1]上海市工程建设规范《岩土工程勘察规范》(DGJ08-37-2012)。
- [2]上海市工程建设规范《地基基础设计标准》(DGJ08-11-2018)。
- [3]行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008)。