

七、桩端后注浆预制桩

- 节约成本：30%
- 节约工期：30%

CONTENTS

- 1、研究概况
- 2、工艺原理
- 3、沉桩工艺
- 4、关键技术
- 5、工程应用
- 6、发展展望

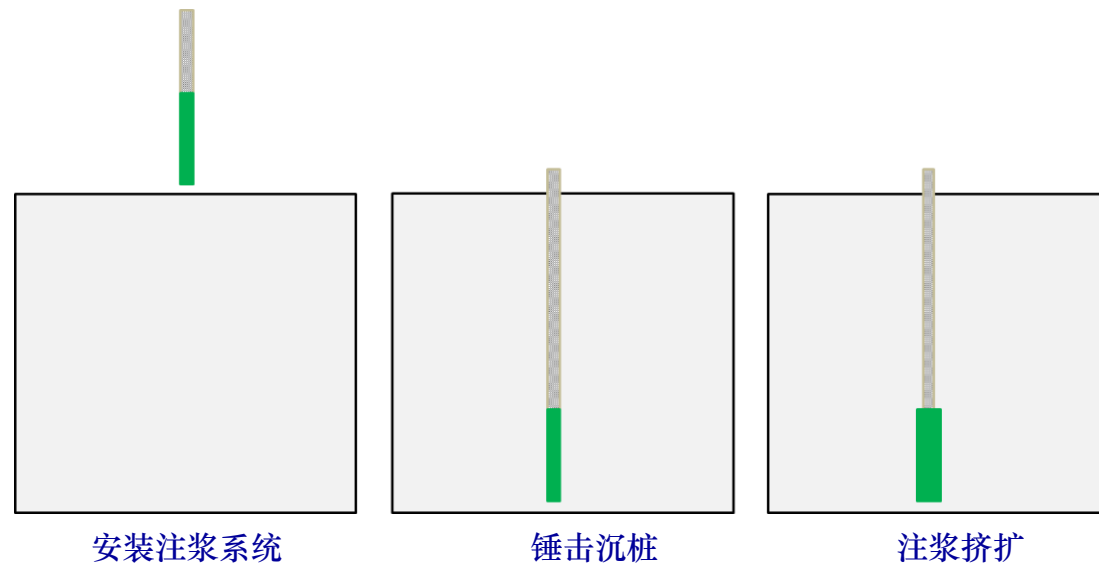
➡ 研究背景

预制桩具有施工高效、成本低廉的优点，因此在工程建设中得到广泛应用。但是，传统的预制桩技术也存在一定缺陷，制约了其推广应用：

- ❑ **桩身强度富余大。**受场地地质条件所限，地基承载力不足，预制桩的桩身强度得不到充分发挥，造成资源浪费；
- ❑ **挤土效应非常强。**预制桩常采用锤击或静压沉桩，沉桩过程中挤土效应非常强烈，因此地铁、隧道、管线等重要设施和建筑附近区域，预应力管桩应用受到限制；
- ❑ **硬土穿透能力弱。**受环境保护影响，越来越多预制桩采用静压工艺进行预制桩沉桩。但是静压沉桩工艺穿透能力弱，难以穿透深厚砂层、砾石、卵石和碎石土层。

➡ 研究背景

2019年，在世茂集团工作期间，为降低广州亚运城H地块抗拔桩成本，开展了锤击沉桩注浆挤扩PHC管桩技术研究。即在PHC管桩桩端安装注浆桩尖和束浆袋，锤击沉桩到位后，通过注浆管和注浆桩尖向束浆袋注浆，束浆袋在高压水泥浆作用下，挤扩桩周土体，形成水泥浆结石体挤扩段，以达到提高PHC管桩抗拔承载力的目的。试验过程中发现，束浆袋在沉入土中时，极易受到土体摩擦而破坏，锤击沉桩注浆挤扩PHC管桩试验“失败”！



锤击沉桩注浆挤扩PHC管桩工艺原理



注浆桩尖加工



注浆桩尖焊接



束浆袋安装



锤击沉桩



束浆袋沉入土中



注浆管连接



注浆



开挖实景

研究背景

尽管束浆袋在沉桩过程中损坏严重，与最初设想出入很大，但是，试验小组还是想尽一切办法，进行了注浆施工和静载检测。检测结果出人意料，2根注浆挤扩PHC管桩试桩静载检测都未达到承载力极限状态，其中1根加载至2400kN，1根加载至2100kN都出现了桩帽破坏，注浆挤扩PHC管桩抗拔承载力远高于普通PHC管桩（根据地勘报告估算普通PHC管桩抗拔桩承载力极限值约为1100kN）。

工程试验表明，后注浆能够显著提高PHC管桩的抗拔承载力，这使本人认识到后注浆能够显著提升预制桩的承载性能，从而深入研究桩端后注浆预制桩技术，因此从这个意义说，这次试验取得巨大“成功”！

广东恒工程检测技术有限责任公司

YH-DJCB-20-0048

初步检测结果通知单

广州利合房地产开发有限公司（委托单位）：

我公司 2020 年 02 月 05 日~ 2020 年 02 月 08 日对广州亚运城自编编号 H1 地块的预应力管桩采用 单桩竖向抗拔静载试验 法进行了检测，目的是检测单桩竖向抗拔承载力。根据委托单位要求，确定本次共检测 2 根预应力管桩。根据现场检测数据，对检测内容作出如下初步评价：

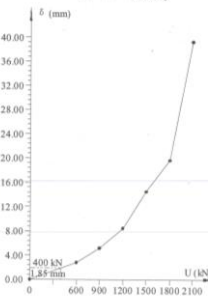
1、检测结果汇总表

试验序号	试验桩号 (#)	桩径 (mm)	桩长 (m)	单桩竖向抗拔极限承载力 (kN)	最大上拔量 (mm)	残余上拔量 (mm)	单桩竖向抗拔承载力特征值对应上拔量 (mm)	备注
1	ZK40	500	23.00	/	/	/	1.24	由于试验荷载加载到 2400kN 时，桩帽破裂，试验终止
2	ZK41	500	24.00	/	/	/	1.85	由于试验荷载加载到 2100kN 时，桩帽破裂，试验终止

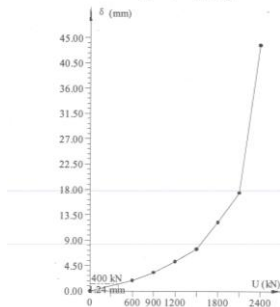
2、检测结论

单桩竖向抗拔静载试验结果表明：本次共检测 2 根预应力管桩，其中 ZK40#桩由于试验荷载加载到 2400kN 时，桩帽破裂，试验终止，不对其单桩竖向抗拔极限承载力进行判断；ZK41#桩由于试验荷载加载到 2100kN 时，桩帽破裂，试验终止，不对其单桩竖向抗拔极限承载力进行判断。

U-δ 曲线



U-δ 曲线



研究成果

为此，自2019年本人一直致力于桩端后注浆预制桩技术开发，先后申请专利15项，其中7项获得授权。

桩端后注浆预制桩专利一览表

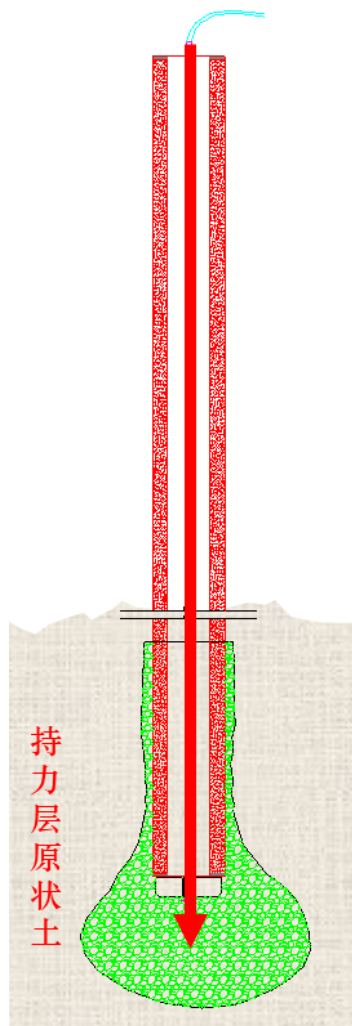
序号	专利名称	专利号/申请号	法律状态
1	一种预应力管桩后注浆装置	ZL202020997654.7	实用新型，已授权，有效
2	一种预制实心方桩后注浆装置	ZL202120368646.0	实用新型，已授权，有效
3	一种空心预制桩的空腔后注浆装置	ZL202120368920.4	实用新型，已授权，有效
4	桩端后注浆钢管桩	ZL202221520779.6	实用新型，已授权，有效
5	注浆装置	ZL202221520763.5	实用新型，已授权，有效
6	钢管桩桩端后注浆装置	ZL202220421736.6	实用新型，已授权，有效
7	桩端后注浆预制斜撑	ZL202222163570.5	实用新型，已授权，有效
8	一种预应力管桩后注浆装置及其施工方法	CN202010492842.9	发明专利，实质性审查中
9	一种预制实心方桩后注浆装置及其施工方法	CN202110183342.1	发明专利，实质性审查中
10	一种空心预制桩的空腔后注浆装置及其施工方法	CN202110182766.6	发明专利，实质性审查中
11	搅拌植入桩端后注浆预制桩及其施工方法	CN202110597086.0	发明专利，实质性审查中
12	桩端后注浆钢管桩及其施工方法	CN202210689095.7	发明专利，实质性审查中
13	钢管桩桩端后注浆装置及其施工方法	CN202210179405.0	发明专利，实质性审查中
14	注浆装置以及桩端后注浆施工方法	CN202210687003.1	发明专利，实质性审查中
15	一种桩端注浆装置及其使用方法	CN202111292311.6	发明专利，实质性审查中



② 研究成果

- 在上海市土木工程学会和专家支持下，上海同仁里岩土会同主编了《桩端后注浆预制桩技术规程》。
- 2023年9月，《桩端后注浆预制桩技术规程》通过专家审查，已由上海市土木工程学会于2023-11-08发布，自2023-12-01起实施。
- 目前正在编制浙江省、江苏省、广东省等地的地方编制和团体标准，为桩端后注浆预制桩的推广应用创造良好条件！

上海市土木工程学会标准	
T/SSCE 0006-2023	
桩端后注浆预制桩技术规程 Technical specification for tip post grouted prefabricated pile	
2023-11-08 发布	2023-12-01 实施
上海市土木工程学会 发布	



利用预制桩桩身设置注浆管，桩端安装具有止回功能的桩尖。预制桩沉桩到位后，通过注浆管和桩尖向桩端土层灌注高压水泥浆，水泥浆对桩端土层进行加固，沿预制桩外壁上返，从而达到加固桩端和桩侧土体，提高地基和桩基承载力的目的。



预制桩端后注浆工艺原理

钻孔灌注桩桩端位于沉渣中，桩侧存在软弱泥皮。后注浆时，高压水泥浆极易击穿泥皮，出现跑浆，从而影响注浆加固效果。桩端后注浆预制桩桩端处于原状土层中，桩侧与原状土体紧密接触，有效约束水泥浆液，因此注浆加固效果更好。桩端后注浆预制桩加固具有以下特点：

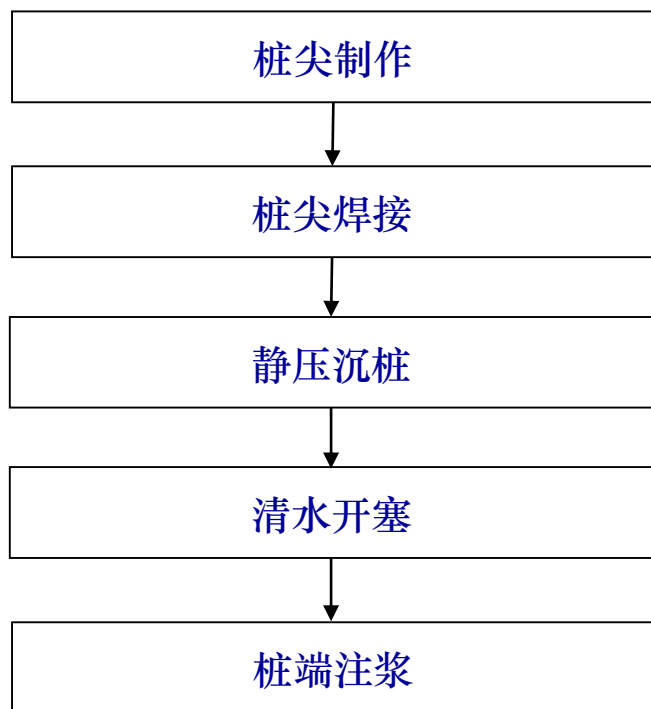
- **渗透为主，劈裂为辅。**水泥浆液受到桩侧土体约束，注浆能够维持较高压力，水泥浆以渗透土体的方式加固土体。只有当桩端周围土层渗透性差，水泥浆来不及扩散，注浆压力超过土体强度时，土体产生劈裂破坏，水泥浆以劈裂土体的方式加固土体；
- **桩端为主，桩侧为辅。**水泥浆自桩端注浆器出来后，首先渗入桩端下面土体，然后随着注浆压力加大，水泥浆一方面向桩端深部土体渗透，另一方面沿桩侧向上返。桩侧土体强度不足时，上返水泥浆能够击穿桩侧土体，地面出现冒浆。因此在群桩基础中，由于桩端水泥浆水平方向渗透，群桩协同加固效应显著。



桩端后注浆预制桩施工时，应当根据场地地质条件和环境保护要求，灵活选择沉桩工艺。桩端后注浆预制桩沉桩工艺有静压沉桩工艺、搅拌植入工艺、引孔植入工艺：

- ❑ **静压沉桩工艺。**场地条件良好，不存在静压沉桩难以穿越的砂层、砾石、碎石等土层；且场地周边无重要设施、建筑，环境保护要求比较宽松；
- ❑ **搅拌植入工艺。**场地条件良好，不存在静压沉桩难以穿越的砂层、砾石、碎石等土层；但是场地周边存在重要设施、建筑，环境保护要求比较严格；
- ❑ **引孔植入工艺。**场地条件不利，存在静压沉桩难以穿越的砂层、砾石、碎石等土层；或者场地周边存在重要的设施、建筑、管线，环境保护要求非常严格。

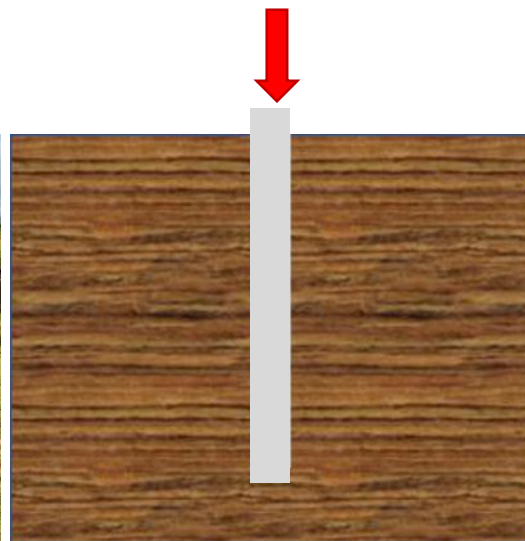
② 静压沉桩



① 桩尖制作



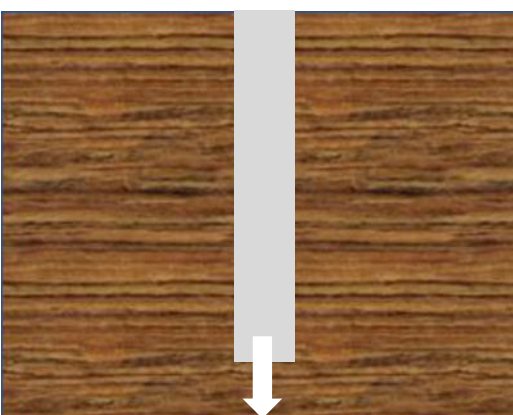
② 桩尖焊接



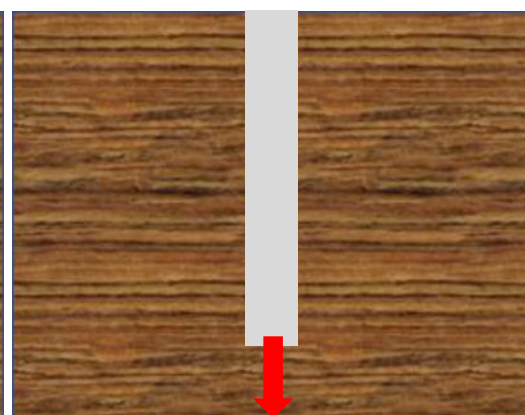
③ 静压沉桩



④ 注浆管连接

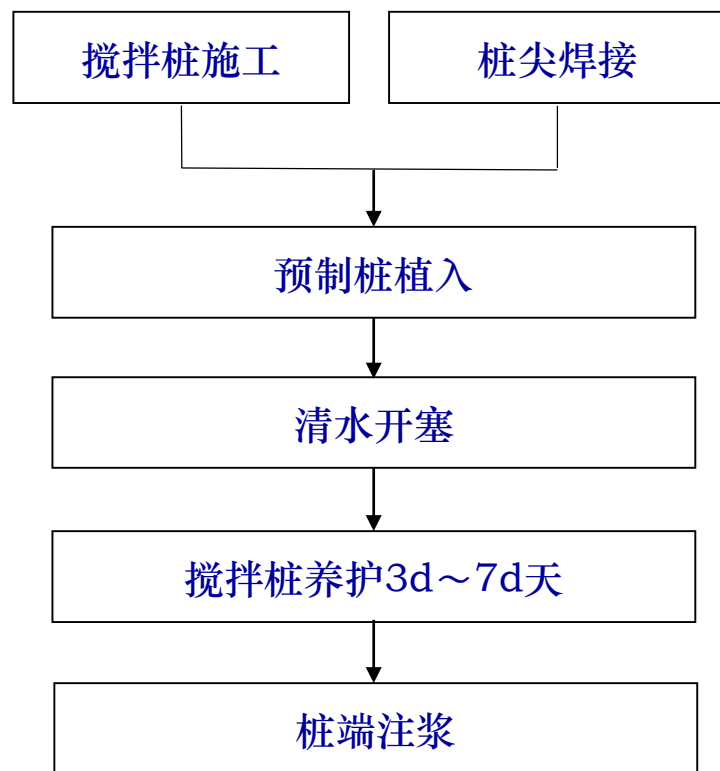


⑤ 清水开塞



⑥ 桩端注浆

② 搅拌植入



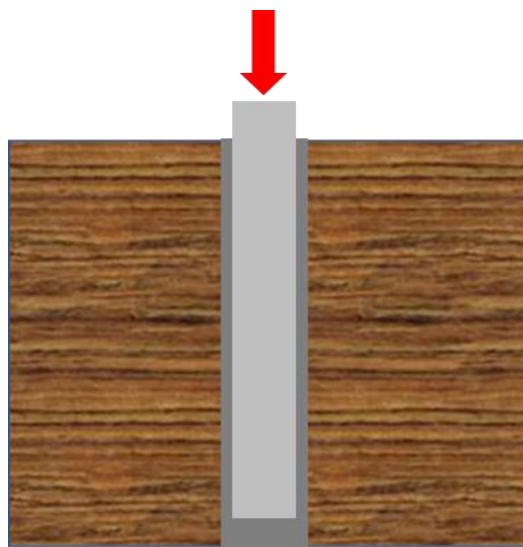
① 搅拌桩施工



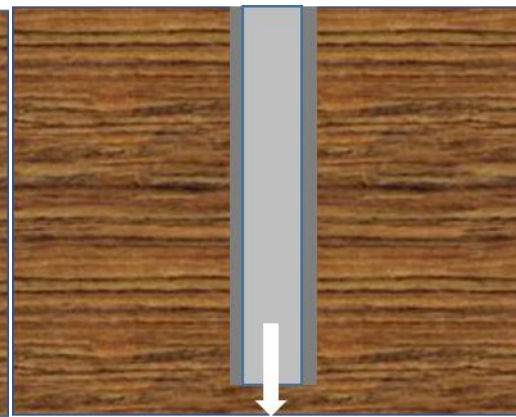
② 桩尖制作



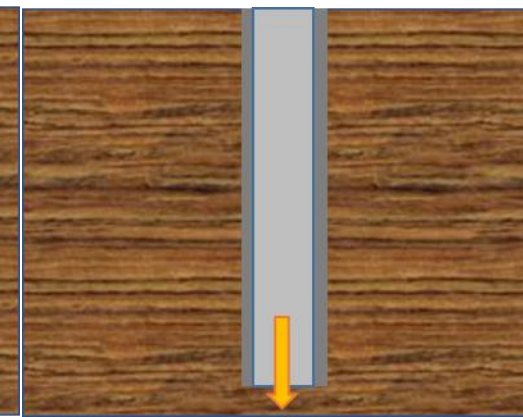
③ 桩尖焊接



④ 静压沉桩

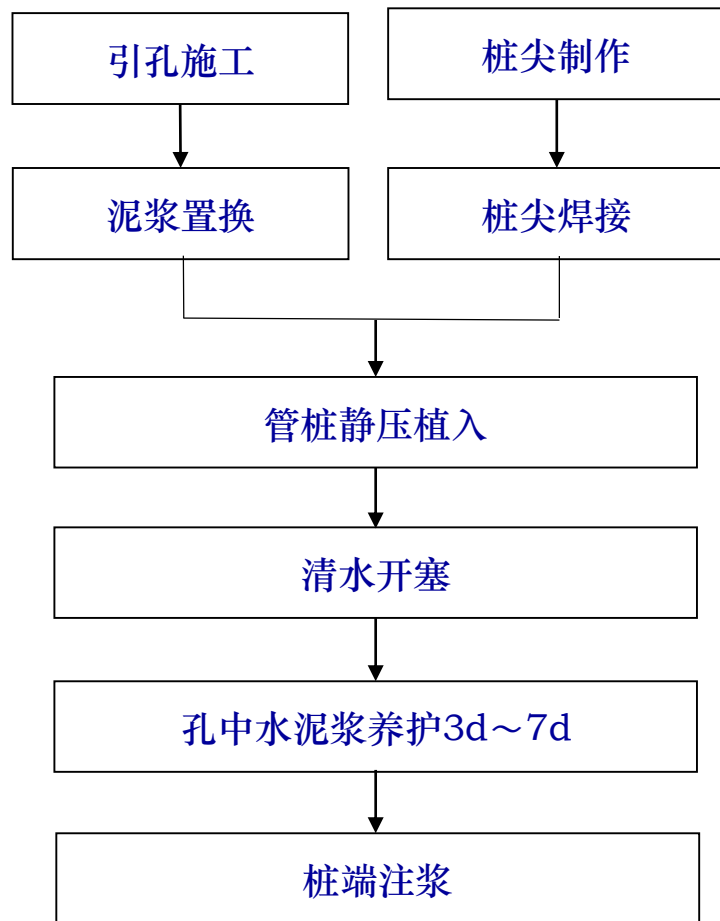


⑤ 清水开塞



⑥ 搅拌桩养护3d~7d后注浆

➡ 引孔植入



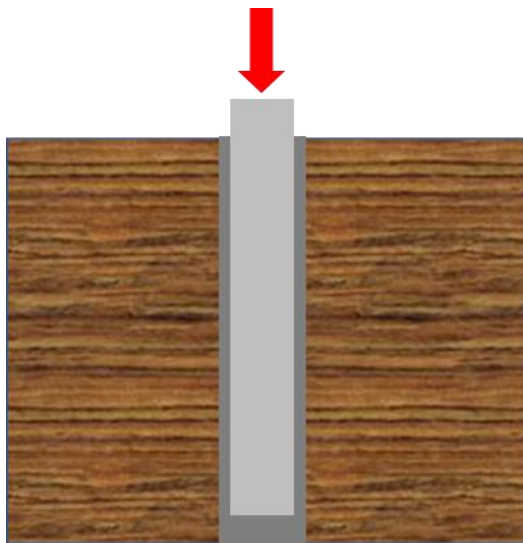
① 引孔施工



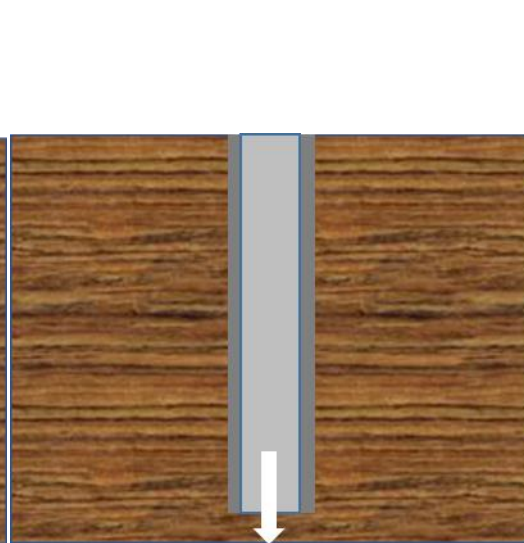
② 泥浆置换



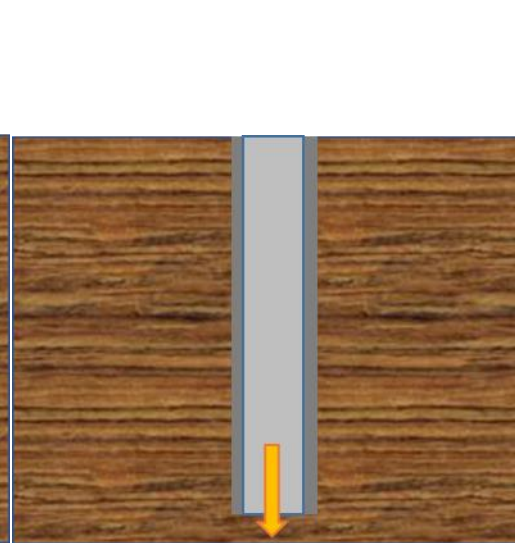
③ 桩尖焊接



④ 静压植桩



⑤ 清水开塞

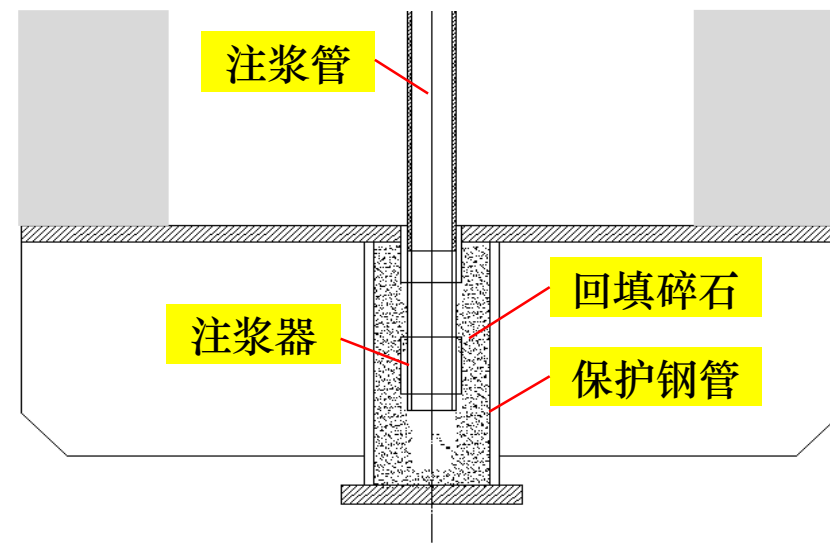


⑥ 孔中水泥浆养护3d~7d后注浆

② 注浆桩尖

预制桩桩端后注浆成败关键在于具有注浆功能的桩尖：

- 具备很强的穿透能力，能够克服沉桩障碍；
- 具备可靠的止回功能，防止出浆孔被堵塞；
- 具备多向的注浆功能，能够全面加固桩端。



② 承载力估算

桩端后注浆预制桩单桩竖向抗压极限承载力标准值应通过单桩竖向抗压静载荷试验确定，可按下式估算（暂时参照《建筑桩基技术规范》 JGJ 94-2008的后注浆灌注桩的承载力估算公式）：

$$\begin{aligned} Q_{uk} &= Q_{sk} + Q_{gsk} + Q_{gpk} \\ &= u \sum q_{sjk} l_j + u \sum \beta_{si} q_{sik} l_{gi} + \beta_p q_{pk} A_p \end{aligned} \quad (5.3.4)$$

式中： Q_{sk} ——后注浆非竖向增强段的总极限侧阻力标准值；

Q_{gsk} ——后注浆竖向增强段的总极限侧阻力标准值；

Q_{gpk} ——后注浆总极限端阻力标准值；

Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值；

u ——桩身周长；

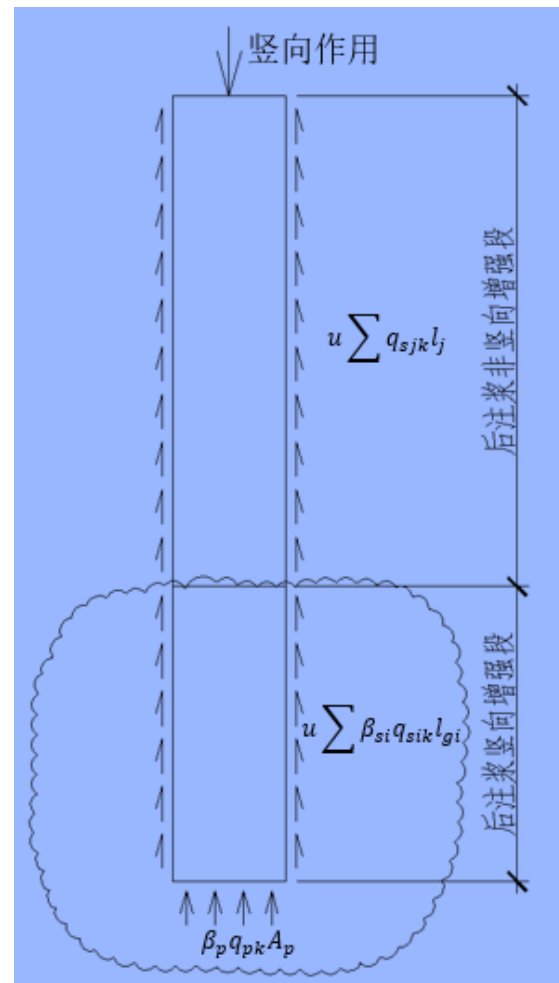
l_j ——后注浆非竖向增强段第 j 层土厚度；

l_{gi} ——后注浆竖向增强段内第 i 层土厚度：竖向增强段为桩端以上10m~12m；

q_{sik} 、 q_{sjk} 、 q_{pk} ——分别为后注浆竖向增强段第 i 土层初始极限侧阻力标准值、非竖向增强段第 j 土层初始极限侧阻力标准值、初始极限端阻力标准值，按地勘报告预制桩参数取用；

β_{si} 、 β_p ——分别为后注浆侧阻力、端阻力增强系数，无当地经验时，可按表5.3.4取值；

A_p ——预制桩桩端面积。





➡ 工程试验

自2019年下半年开展预制桩桩端后注浆技术研究以来，先后在广州亚运城H2地块、浙江桐乡振东项目、福州帝封江项目开展了工程试验取得阶段性成果。工程试验表明，预制桩桩端后注浆技术上可行的，提高承载力效果极为显著。

工程名称	试桩设计	试桩长度（m）	桩端持力层	注浆参数	承载力极限值（kN）
广州亚运城H2地块	PHC C 500(125)	39	入强风化泥质砂岩2.0m	1.5t水泥，水灰比0.55	抗拔>2400
浙江桐乡振东项目	PHS AB 400(220)	37	入粉质粘土2.0m	1.0t水泥，水灰比0.55	抗压>4800
福州帝封江项目	PHC AB 500(125)	31-34.2	入卵石1.0m	1.5t水泥，水灰比0.55	抗压>7000
绍兴大越路	PHC AB 400(95)	36	入粉质粘土	1.0t水泥，水灰比0.55	抗压=2450
杭州笕桥住宅地块	PHC AB 600(130)	54	入8圆砾层或10-2强风化泥质粉砂岩	1.5t水泥，水灰比0.60	抗压=5600
珠海人工岛项目	PHC AB 600(130)	44	入砂质粘土/粗砂	2.0t水泥，水灰比0.60	抗压>8000
昆山180地块	PHC AB 600(130)	17	入⑤2层粉砂	1.5t水泥，水灰比0.60	抗压=6480
张家港谷渎港项目	PHC AB 600(110)	16	入⑤2粉砂1.5m	1.5t水泥，水灰比0.60	抗压>3100
太原旭辉广场	UHC AB 600(130)	28	砾砂	1.5t水泥，水灰比0.60	9689
盐城人民路	PHC AB 600(110)	21	7层砂质粉土	1.5t水泥，水灰比0.60	抗压=3200
	PHC AB 600(130)	45	12层砂质粉土	1.5t水泥，水灰比0.60	抗压>6500



➡ 工程应用

桩端后注浆预制桩工程应用一览表

序号	工程名称	应用范围	桩基规格	沉桩工艺	注浆量(t)	工程进展
1	昆明旭辉铂宸府	33层主楼	PHC-600AB 130×35m	静压沉桩	1.5	2021年完成
2	昆明世茂双凤A9地块	33层主楼	PHC-600AB 130 × 30m	静压沉桩	1.3	专家论证通过
3	肇庆世茂广场	5层商业广场	PHC-600AB 130 × 17m	静压沉桩	1.5	施工过程中
4	上海香港置地徐汇滨江西岸金融城F地块	18-24层塔楼	PHC-600AB 130 × 38m	静压沉桩	1.5	2022年完成
5	太原旭辉SL-C01地块	18-24层塔楼	PHC-600AB 130 × 38m	引孔植入	2.0	专家论证通过
6	上海康桥二期集成电路生产线项目	4层厂房	UHC-600AB 130 × 33m	静压沉桩 搅拌植入	2.5	施工过程中
7	嘉兴菁禾汇数字经济产业园	8-11层塔楼	PHC-600AB 110 × 27m	静压沉桩	2.0	施工图设计完成
8	上海外环西段交通工程提升工程	高架道路桥梁	PHC-700AB 110 × 40m	静压沉桩	2.5	已定标
9	S16蕴川高速	高架道路桥梁	UHC 700 AB 130×59m	搅拌植入	2.5	招标中
10	广东清远广德园	1层工业厂房	PHC-500AB 100 × 22m	静压沉桩	1.5	施工中

② 工程概况

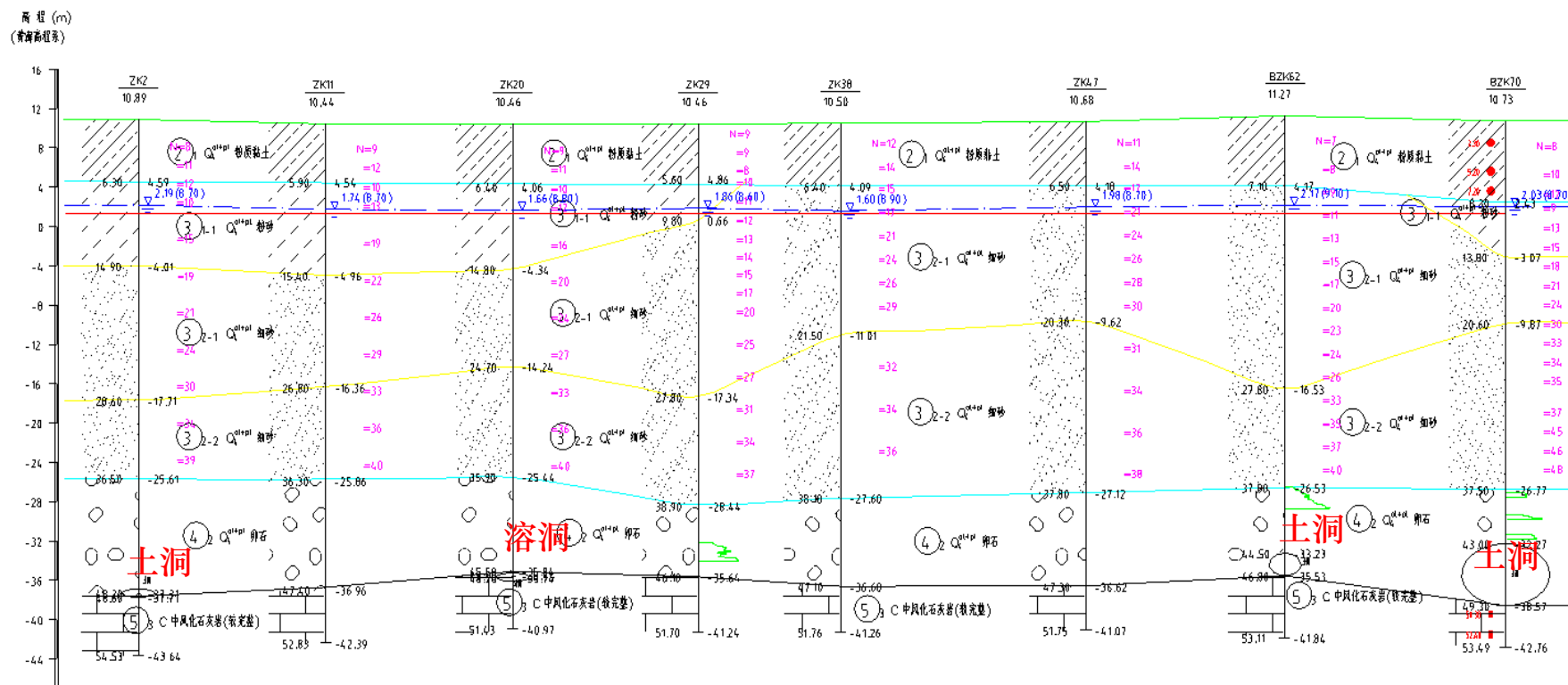
- ❑ 肇庆世茂广场地上5层，地下2层，局部地下1层。
- ❑ 主楼采用框架结构或框架-核心筒结构；
- ❑ 基础形式：桩承台+抗水板。



地质概况

工程地质剖面图 16-----16'

比例尺 水平 1: 300 垂直 1: 400



- 底板以下分布有粉砂、细砂、含卵石粗砾砂、卵石和强风化石灰岩、中风化石灰岩。
- 土层力学性质好，但是存在不良地质条件：卵石底部土洞发育、灰岩顶部溶洞发育。



地质概况

预制桩基础力学参数

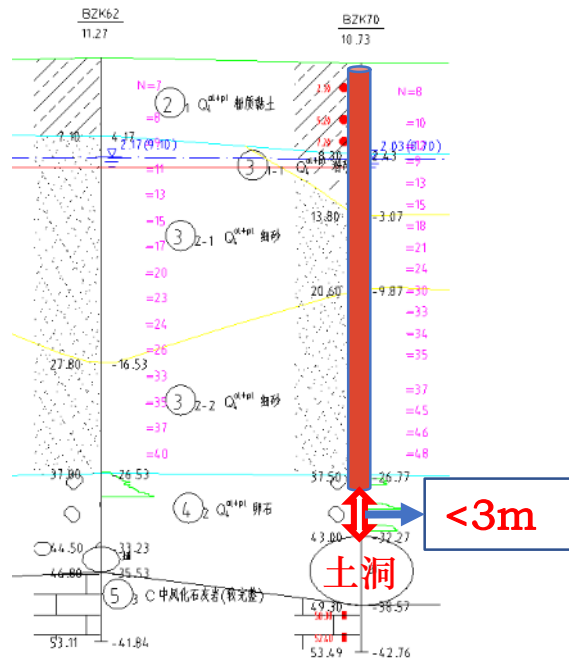
土层	预制桩				负摩阻力系数 ξ	液化折减系数 λ
	桩侧摩阻力特征值 Q_{sik} (kPa)	桩端阻力特征值 Q_{pk} (kPa)	土层埋深修正系数	抗拔系数 λ_i		
粉质黏土②1	28	/	0.8	0.70	00.40	/
粉砂③1-1	10	/	1.0	0.50	0.50	BZK(9\13\23\28\29\43\46\49\57\58\62\66\69\70\71\75)等钻孔区域在深度10m范围内按2/3折减
淤泥质土③1-3 (一般呈透镜体分布)	8	/	1.0	0.65	0.40	/
细砂③2-1 (标贯击数介于10~30击)	28	/	1.1	0.55	/	/
细砂③2-2 (标贯击数大于30击)	40	3000	1.1	0.60	/	/
含卵石粗砾砂④1	60	5500	1.2	0.65	/	/
卵石④2	75	6000	1.2	0.70	/	/

➡ 桩基选型-普通PHC管桩

根据临近住宅工程经验，普通PHC管桩的设计方案详见下表。普通PHC管桩沉桩35m，承载力特征值只有2800kN。特别是PHC管桩桩端距④₂卵石中的土洞较近。按照国家规范要求，需要进行一桩一孔超前钻和土洞加固处理，周期长、成本高！

普通PHC管桩设计方案

桩型	沉桩总长(m)	收桩压力(kN)	持力层	入持力层深度要求	备注	单桩承载力特征值(kN)
PHC-600AB(130)	平均35	6300	细砂或卵石层	细砂不少于10m	送桩深度约4m	2800

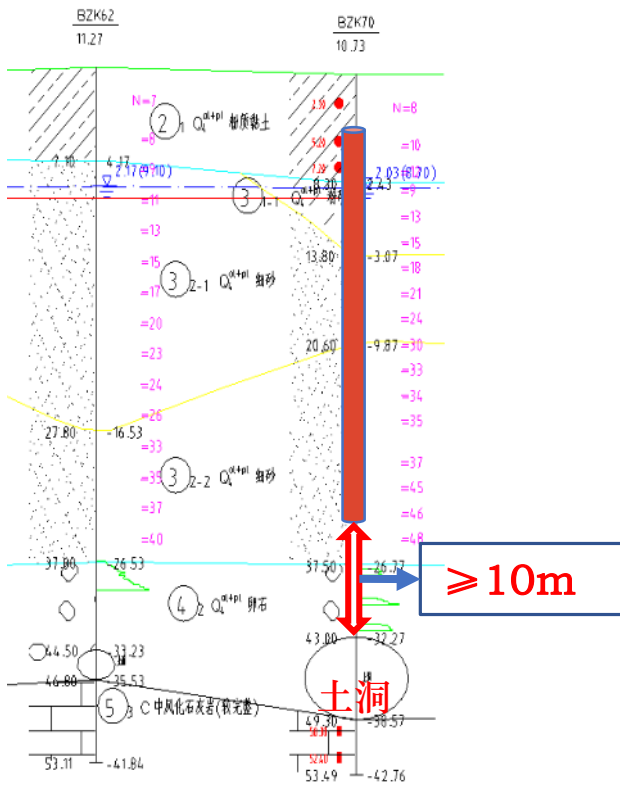


➡ 桩基选型-桩端后注浆PHC管桩

充分利用场地土层为砂性土层，注浆加固效果显著的有利条件，采用桩端后注浆技术缩短PHC管桩有效桩长，将桩端与④2卵石中的土洞距离扩大至10m以上，规避土洞的不利影响！

桩端后注浆PHC管桩试桩方案

桩型	桩位编号	沉桩总长(m)	收桩压力(kN)	持力层	入持力层深度要求	最小试验荷载(kN)	注浆水泥量(t)	预估单桩承载力特征值(kN)
PHC-600AB(130)	SZ5#	27	5200	细砂层	不少于10m	7100	1.5	3500
PHC-600AB(130)	SZ2#	27	5200	细砂层	不少于10m	7100	1.5	3500
PHC-600AB(130)	SZ1#	27	5200	细砂层	不少于10m	7100	1.5	3500
PHC-600AB(130)	SZ4#	27	5200	细砂层	不少于10m	7100	1.5	3500



② 试桩施工



① 桩尖焊接



② 注浆管安装



③ 管桩起吊



④ 注浆管固定



⑤ 管桩焊接



⑥ 涂抹防腐涂料



⑦ 控制收桩压力



⑧ 安装滤网



⑨ 水灰比控制



⑩ 桩端注浆



➡ 试桩施工

沉桩记录

序号	施工日期	桩位编号	桩端持力层	静压桩起止时间		接桩节长（m）及压力表读数（MPa）记录						终压力值 （kN）	送桩深度 （m）	桩尖入土深度 （m）
						第一节		第二节		第三节				
				开始	结束	节长	读数	节长	读数	节长	读数			
1	2021.2.26	SZ5	细砂	7:30	11:40	13	4	6	6	7	14	5500	26	26
2	2021.3.1	SZ2	细砂	15:15	17:50	12	9	15	12.5			5200	27	27
3	2021.3.4	SZ1	细砂	9:09	11:37	12	9	15	12.5			5200	27	27
4	2021.3.4	SZ4	细砂	14： 22	16:22	12	9	15	12			5180	27	27

注浆记录

序号	施工日期	桩位编号	清水开塞		一次注水泥浆液					
			开始时间	停止时间	压力 (MPa)	开喷时间	水灰比	水泥浆比重	停喷时间	水泥用量 (t)
1	2021.3.1	SZ5	17:00	17:08	2.5	17:40	0.6	1.73	20:25	1.8
2	2021.3.3	SZ2	16:25	16:30	2.5	16:33	0.6	1.7	17:40	3
3	2021.3.4	SZ1	20:00	20:10	2	20:19	0.6	1.72	21:42	1.5
4	2021.3.4	SZ4	18:30	18:40	2	18:54	0.6	1.71	20:11	1.5



➡ 试桩结果

试桩静载检测结果一览表

施工日期	桩型	桩位编号	沉桩总长 (m)	最终压力 (kN)	有效桩长 (m)	截桩长 (m)	注浆水泥 量 (kg)	预估极限 承载力	试验日期	最大试验荷载及 对应沉降量 (kN/mm)		极限试验荷载 对应沉降量 (kN/mm)	
2021年2月26日	PHC-600AB(130)	SZ5#	26.00	5500	15.78	10.22	1800	7100	2021年3月24日	9000	25.49	9000	25.49
2021年3月1日	PHC-600AB(130)	SZ2#	27.00	5200	16.92	10.08	3000	7100	2021年3月25日	9000	28.2	9000	28.2
2021年3月4日	PHC-600AB(130)	SZ1#	27.00	5200	16.90	10.10	1500	7100	2021年3月26日	9000	17.05	9000	17.05
2021年3月4日	PHC-600AB(130)	SZ4#	27.00	5180	17.03	9.97	1500	7100	2021年3月28日	9000	21.69	9000	21.69

② 试桩结果



2#开挖5m未发现水泥浆



1#开挖5m未发现水泥浆



4#开挖至5m发现水泥浆

桩侧土层为粉砂、细砂，渗透性强，水泥浆最大上返高度达到22m，这是桩端后注浆效果显著的重要原因之一！

➡ 工程应用

在当地政府主管部门和专家、世茂集团和广东省建筑设计研究院等单位大力支持下，桩端后注浆PHC管桩成功应用于肇庆世茂广场，采用的承载力特征值为3500kN，节约成本1400万元，取得了显著的经济效益。



肇庆世茂广场预应力管桩桩端后注浆技术方案

专家咨询意见

会议时间：2021年4月15日

会议地点：世茂港珠澳口岸城项目部

会议主题：肇庆世茂广场预应力管桩桩端后注浆技术方案

组长：方小丹

专家：方小丹、莫海鸿、丘建金、杨光华、林奕禧

世茂集团邀请五位专家对预应力管桩桩端后注浆技术应用于肇庆世茂广场的可行性进行深入讨论。与会专家咨询意见如下：

1. 桩底注浆对于砂层等较大孔隙岩土持力层提高承载力是有效的。肇庆项目持力层主要是砂层，后注浆方案有明显优势；
2. 注意群桩效应的沉降和注浆质量控制；
3. 卵石层可不处理，不需超前钻；
4. 桩基检测建议：承载力检测验收数量宜按现行规范2倍。

杨光华
林奕禧
方小丹

创新成果应用证明

项目名称	肇庆世茂广场		
应用单位	肇庆世茂悦荣房地产开发有限公司		
通讯地址	广东省肇庆市端州区堤下路12号世茂营销中心	邮编	526020
联系人	杨振贵	手机	13826401826
		电话及传真	
应用成果起止时间	2021/03-2022/04		

肇庆世茂广场地上5层，地下2层，局部地下1层，占地面积32000m²，总建筑面积124000m²。场地岩溶和土洞发育，地勘揭露土洞洞顶埋深最小为41.5m，对桩基成本影响很大。

根据地勘报告，设计单位建议采用1100根长约30m的PHC 600 AB 130管桩作为抗压桩，持力层为④₂卵石层，单桩抗压承载力特征值2800kN，并需采用超前钻排查桩端土洞和溶洞发育情况，并对揭露的土洞和溶洞进行地基处理，总共需要超前钻孔1396个，钻孔深度至卵石层5m。通过设计试桩和专家论证，最终采用创新成果—桩端后注浆管桩作为抗压桩，共计采用1042根长约20米的桩端后注浆PHC 600 AB 130管桩，持力层为④₂细砂，单桩抗压承载力特征值3300kN，共计节约成本约1400万元，经济效益非常显著。



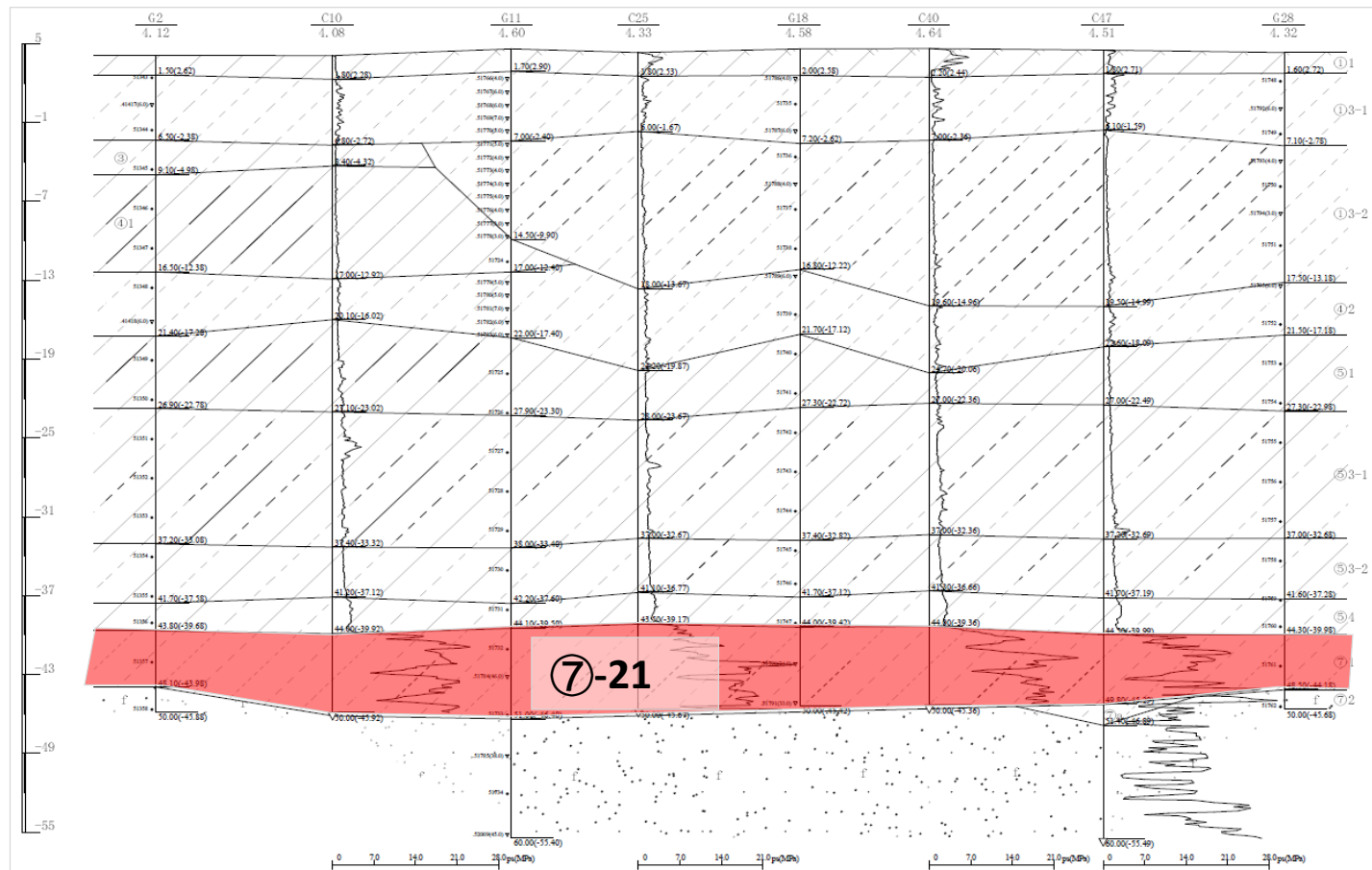
单位盖章（公章）
2022年4月18日

② 工程概况

上海徐汇滨江西岸金融城位于徐汇区东部黄浦江畔，基地总占地面积23万 m^2 ，计容面积近109万 m^2 ，由五个街坊28个地块组成。其中F地块两栋塔楼高度在90m左右，对桩基承载力要求较高。



地质概况



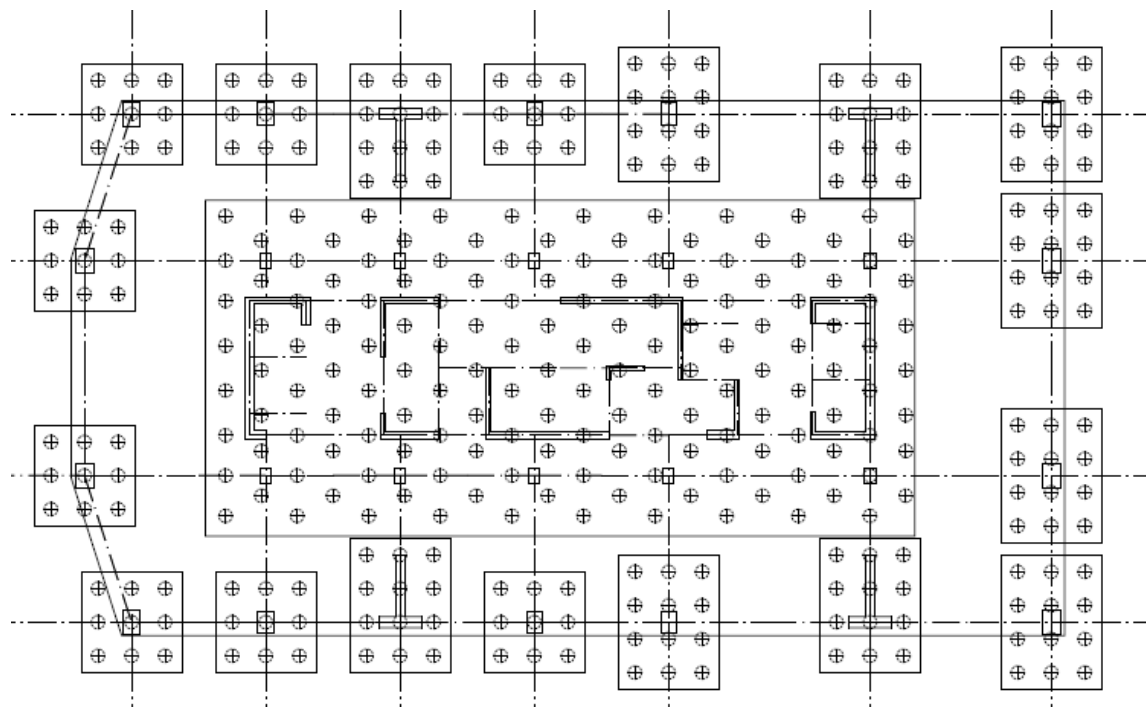
桩基础力学参数表

层序	静力触探 Ps (MPa)	标贯击数 N (击)	预制桩		钻孔灌注桩		抗拔 承载力 系数 λ
			fs(kPa)	fp(kPa)	fs(kPa)	fp(kPa)	
① ₃	1.212	3.9	6m 以上 15 6m 以下 20		15		0.7
② ₁	0.908		15		15		0.7
③	0.701		6m 以上 15 6m 以下 20		15		0.7
④	0.623		25		20		0.7
④ _{T1}	4.488	17.2	50~60		35		0.7
④ _{T2}	1.815	5.0	40		35		0.7
⑤ ₁	1.193		45		40		0.7
⑤ ₃₁	1.636		50		45		0.7
⑤ ₃₃	2.082		60	1700	50	650	0.75
⑤ ₄	3.180		70	2500	60	900	0.8
⑤ _{4T}			60		55		0.75
⑦ ₂₁	14.169	41.9	100	6000	65	2200	0.6
⑦ ₂₂	20.990	53.1	110	7500	75	2400	0.6
⑦ _{2T}	7.608		70		60		0.7
⑨	25.976	68.2	120	9000	90	2800	0.6

- ⑦-21层Ps值较大，管桩静压沉桩穿透困难；
- 场地南区的江滩土土层较厚，达到16~19m

② 桩基选型-普通PHC管桩

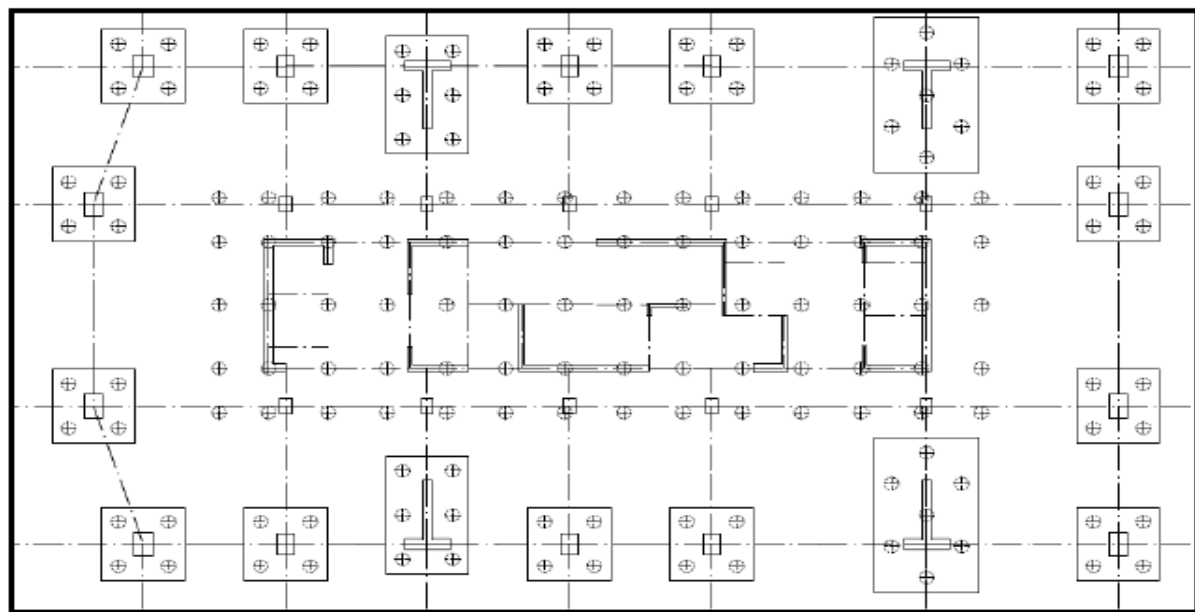
根据地堪报告和临近项目工程经验，普通PHC600管桩有效桩长37m，持力层为7-21粉砂，单桩抗压竖向承载力特征值为2130kN。核心筒区域桩基数量较多，难以满足桩基间距 $\geq 3.5d$ 的要求！



F06西塔PHC管桩布桩方案

➡ 桩基选型-桩端后注浆钻孔灌注桩

为此，初步选择有效桩长50m、 $\Phi 700$ 桩端后注浆钻孔灌注桩作为F03塔楼和F06西塔桩基。设计试桩获得单桩竖向抗压极限承载力平均值为10150kN，能够满足设计要求。但是成本测算发现，单栋塔楼桩基成本超过500万元，远远超出目标成本！



700灌注桩后注浆布置图

F06西塔桩端后注浆钻孔灌注桩布桩方案

➡ 桩基选型-桩端后注浆UHC管桩

在香港置地、专家、设计和审图单位支持下，进行了桩端后注浆UHC管桩应用探索。桩端后注浆UHC600管桩设计试桩4根，有效桩长37m，桩底标高-42.0m，进入持力层7-1层（灰绿-灰黄色砂质粉土）约2~3m。

桩端后注浆UHC管桩试桩方案

试桩名称	桩型	试桩长度 (m)	桩顶标高 (m)	持力层/进入深度 (m)	沉桩控制	注浆水泥用量 (t)	试验加载值 (kN)	预估单桩抗压 承载力特征值 (kN)
桩端后注浆管桩	UHC-600AB(130)	47	5.00	7-1砂质粉土/2.0	桩长控制	1.5	7500	3500

试桩施工

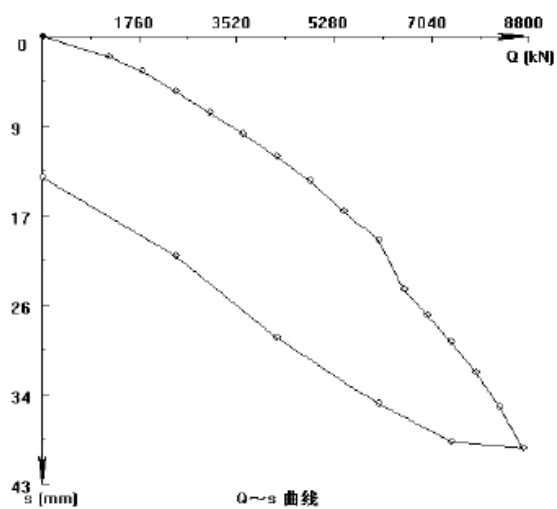
试桩施工记录

桩号	桩型	桩长 (m)	终压力 (kN)	注浆压力 (MPa)			注浆时间 (min)
				开塞	平均	结束	
31	UHC600AB130	47	5676	8	1.2	1.8	115
34		47	4428	8	2.0	3.0	90
36		47	4674	4	1.5	2.0	85
29		47	3690	4	1.5	2.0	90

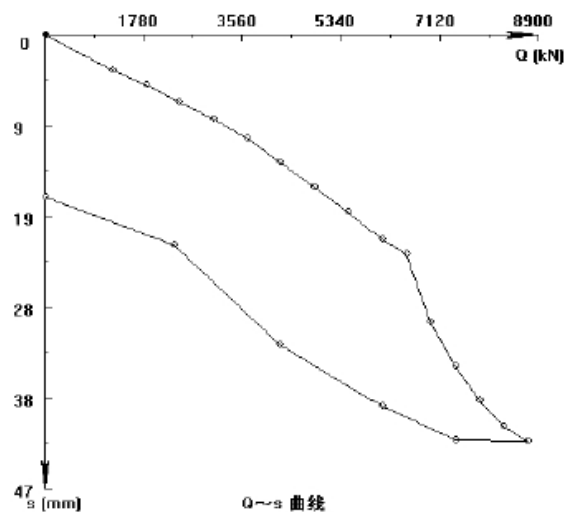




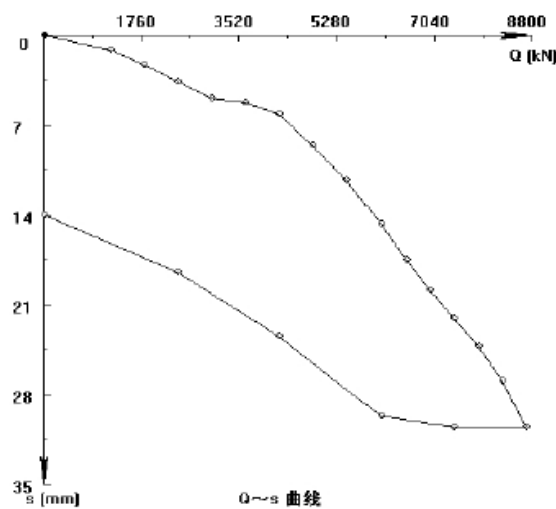
试桩结果



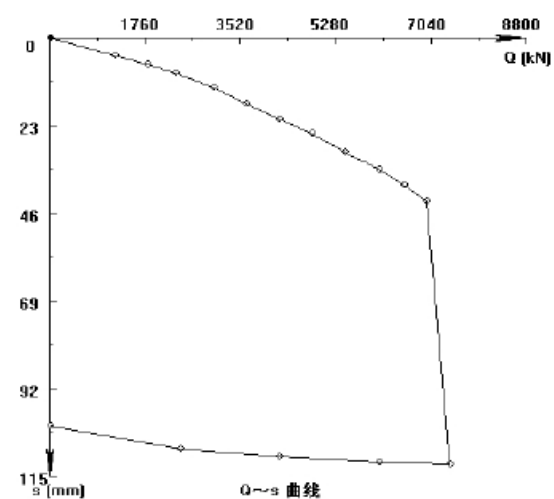
SZH8-29



SZH8-31



SZH8-34



SZH8-36(桩身破坏)

桩端后注浆UHC600管桩静载检测结果

➡ 试桩结果

试桩结果分析

编号	桩型	桩端高程 (m)	检测承载力极限值 (kN)				检测极限值的 平均值 (kN)	地勘计算 极限值 (kN)	检测值与计算值的 比值 (%)
SZH1a	Φ700桩端后注浆钻孔灌注桩	-55.0/⑦-22	10500	10500	9800	9800	10150	8130	124.85
SZH8	桩端后注浆UHC600AB130	-42.0/⑦-21	8700	6960	8700	8700	8700	5190	167.63

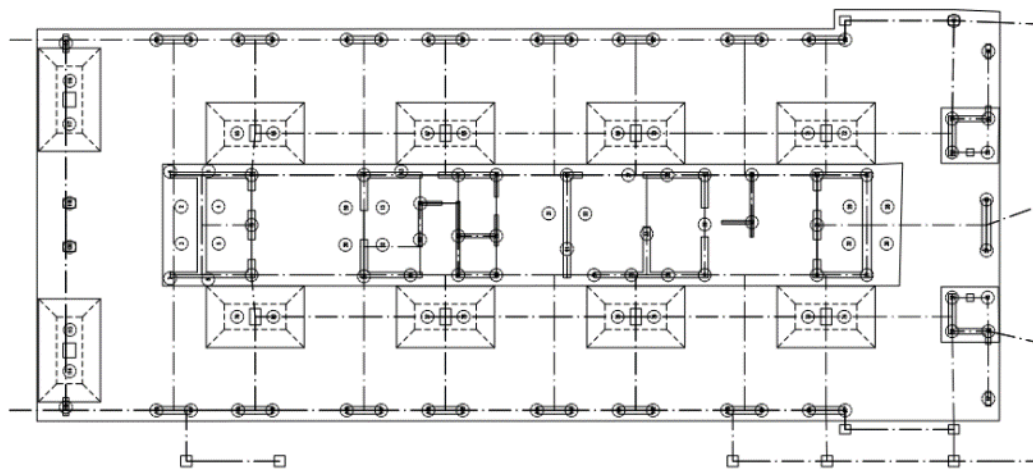
经检测桩身破坏，不计入

桩端后注浆效果分析：

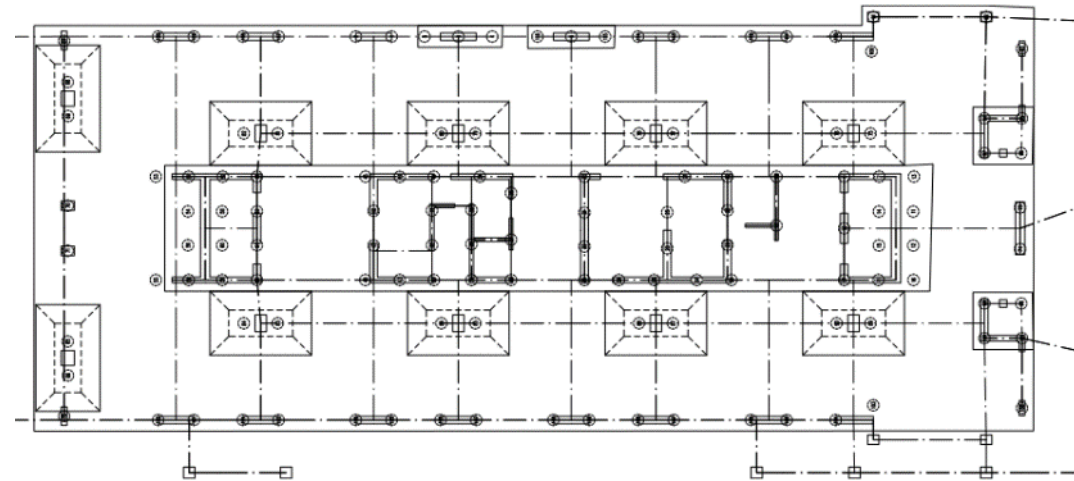
- ❑ 桩端后注浆钻孔灌注桩：较地勘计算提高25%。
- ❑ 桩端后注浆UHC管桩：较地勘计算提高68%（桩端后注浆UHC管桩未达承载力极限状态）。

➡ 工程应用

通过专家论证，两个塔楼采用桩端后注浆PHC600管桩代替 $\Phi 700$ 桩端后注浆钻孔灌注桩，单桩竖向抗压承载力特征值取3973kN（试桩），较地勘报告计算值提高45%。



700直径灌注桩（后注浆），根数120根
单桩竖向抗压承载力特征值5125kN
总成本：369万元



PHC600AB130（后注浆），根数140根
单桩竖向抗压承载力特征值3973kN
总成本：205万元

经过成本测算，采用桩端后注浆PHC管桩代替桩端后注浆钻孔灌注桩，两个塔楼桩基**成本节约40%**，合计338万元。



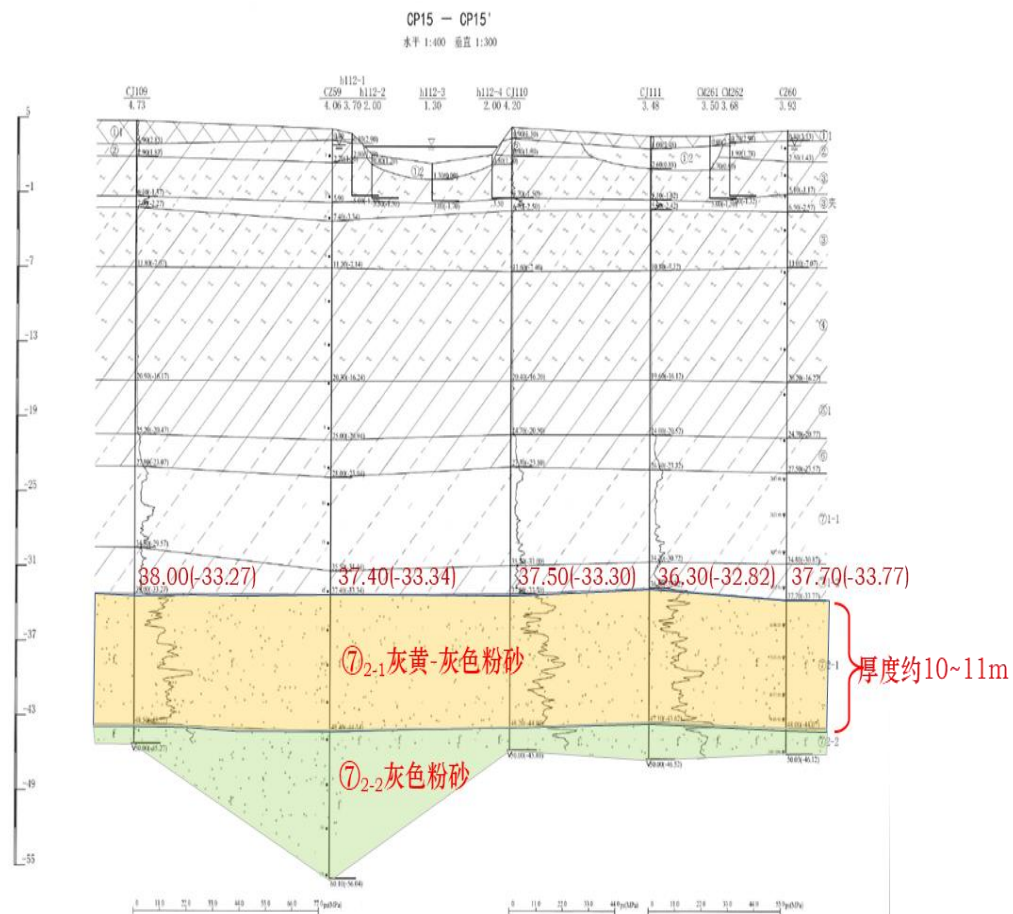
② 工程概况

- 拟建项目总建筑面积70多万平方米，主要包括集成电路生产线厂房及配套设施的设计施工总承包；
- 二期包含生产厂房、废水处理站、动力厂房等多个工业建筑，地下一层，地上为多层工业厂房。

② 工程特点

- 桩基承载力需求高。楼面荷载高达6t/m²，柱下荷载近40000kN，桩基承载力需求高；
- 环境保护的要求高。拟建项目紧邻已经投产的一期建筑，必须采取措施控制桩基施工影响。

➡ 地质概况



地基承载力及桩基承载力设计参数表

表 8

层号	土层名称	层底一般埋深 (m)	平均比贯入阻力 Ps (MPa)	地基承载力特征值 fak(kPa)	预制桩 (预应力管桩)		钻孔灌注桩		抗拔承载力系数 λ_i
					桩周土极限摩阻力标准值 fs(kPa)	桩端土极限端阻力标准值 fp(kPa)	桩周土极限摩阻力标准值 fs(kPa)	桩端土极限端阻力标准值 fp(kPa)	
②	褐黄~灰黄色粉质粘土	2.3	0.73	80	15		15		0.70
③	灰色淤泥质粉质粘土	11.0	0.43	60	6m 以上 15 6m 以下 20		6m 以上 15 6m 以下 16		0.70
③ _夹	灰色砂质粉土	6.5	2.64	110	6m 以上 15 6m 以下 35		6m 以上 15 6m 以下 30		0.70
④	灰色淤泥质粘土	20.0	0.55	65	20		16		0.70
⑤ ₁	灰色粘土	24.5	0.82	90	40		35		0.70
⑥	暗绿~褐黄色粉质粘土	27.5	2.49		70	1700	55	850	0.70
⑦ ₁₋₁	褐黄色粘质粉土 与粉质粘土互层	34.0	3.81		70	3000	50	1100	0.70
⑦ ₁₋₂	灰黄~灰色粉质粘土 夹粘质粉土	38.0	2.49		70	2000	55	1000	0.70
⑦ ₁₋₃	灰黄~灰色砂质粉土 夹粉质粘土	40.0	5.14		75	3700	55	1300	0.70
⑦ ₂₋₁	灰黄~灰色粉砂	50.0	13.09		110	7000	70	2300	0.65

注: 桩端端阻力、桩侧阻力特征值按桩端土极限端阻力、桩周土极限摩阻力标准值的 0.5 倍取值。



➡ 桩基方案-钻孔灌注桩方案

- ❑ 采用直径800的钻孔灌注桩；
- ❑ 桩端持力层为⑦₂₋₂层灰色粉砂；桩长约60m，有效桩长51~52m；
- ❑ 单桩竖向抗压承载力设计值4000kN。

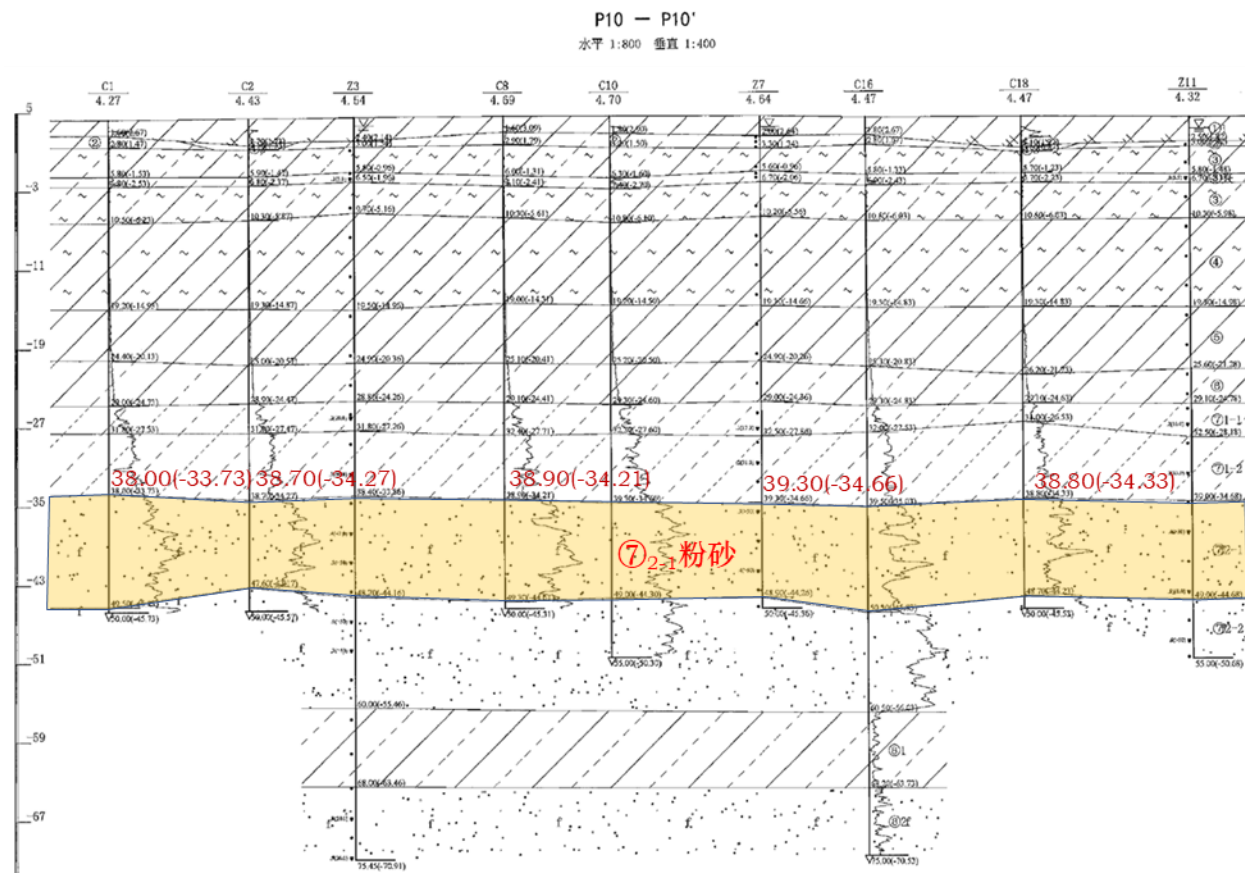
桩型号	桩型号	桩顶相对标高 (m)	桩长 (m)	单桩竖向抗压承载力设计值 (kN)	桩端持力层	试桩数量 (根)	试桩加载值 (kN)
P1	YZ800-60-4m,40/F-C35	-10.300	51	4000	⑦2-2灰色粉砂	P4: 18	8100
P2	YZ800-60-4m,40/F-C35	-8.700	52	4000	⑦2-2灰色粉砂	P5: 18	8100

② 异地试桩-地质概况

本工程为重点工程，工期非常紧张，因此在现场不具备试桩条件的情况下，在附近地质条件相近的场地进行了异地试桩。试桩场地地质条件与工程所在地地质条件极为相近。

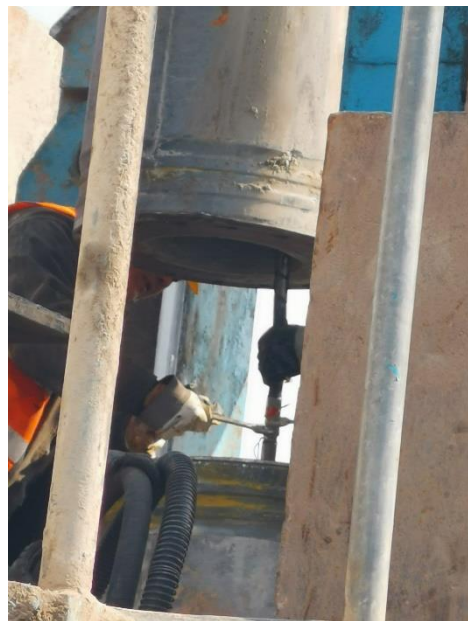
桩基设计参数

层序	土层名称	静力触探 Ps (MPa)	PHC桩	
			fs (kPa)	fp (kPa)
②	粉质黏土	0.79	15	
③	淤泥质粉质黏土	0.46	15~20	
③夹	粉质黏土	1.54	15~25	
④	淤泥质黏土	0.58	25	
⑤	黏土	0.96	40	
⑥	粉质黏土	2.36	70	1500
⑦1-1	砂质粉土	5.51	75	3500
⑦1-2	砂质粉土	10.48	100	6000
⑦2-1	粉砂	17.53	110	7000



➡ 试桩施工

- ❑ 三根试桩沉桩终压力分别6800kN、6000kN、5800kN，单桩沉桩时间约1小时~1小时20分钟。
- ❑ 沉桩到位后，立即进行清水开塞，开塞压力在8.0~22MPa。
- ❑ 水泥搅拌桩养护7天后进行注浆，注浆压力在1.0~1.5MPa之间，注浆速度为1小时20分钟/根。





➡ 试桩检测

- 试桩养护28天后，采用慢速维持荷载法检测试桩承载力。
- 静载检测最大最大加载值9000kN，试桩仍然未达到承载力极限状态，回弹率高达55.2%。
- 说明试桩存在很大的承载潜力，全部达到了试桩设计目标。

序号	最终压桩力(kN)	最大试验荷载(kN)	最大沉降量(mm)	卸荷回弹量(mm)	卸荷回弹率(%)
KS-1#	6800	9000	30.00	15.78	52.6
KS-2#	6000	9000	28.30	13.66	48.3
KS-3#	5800	9000	29.19	16.12	55.2

三、试验结果与分析

1、试验结果

主要技术资料见下表：

表 3 静载检测结果汇总表

序号	桩号	设计最大加载量(kN)	静载方法	桩顶标高(m)	休止期(天)	最大荷载(kN)	桩顶最大沉降量(mm)	卸载后回弹量(mm)	回弹率(%)	极限承载力(kN)
1	KS-1#	9000	堆载法-抗压	-0.5	42	9000	30.00	15.78	52.6	≥9000

第 2 页 共 11 页

JWCEM 上海建咸建设工程管理有限公司

报告编号：FDJ01-BG20240002

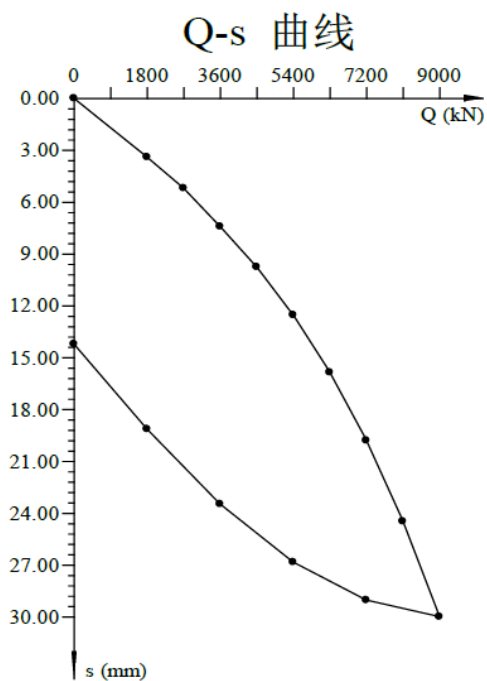
续上表

序号	桩号	设计最大加载量(kN)	静载方法	桩顶标高(m)	休止期(天)	最大荷载(kN)	桩顶最大沉降量(mm)	卸载后回弹量(mm)	回弹率(%)	极限承载力(kN)
2	KS-2#	9000	堆载法-抗压	-0.5	45	9000	28.30	13.66	48.3	≥9000
3	KS-3#	9000	堆载法-抗压	-0.5	47	9000	29.19	16.12	55.2	≥9000

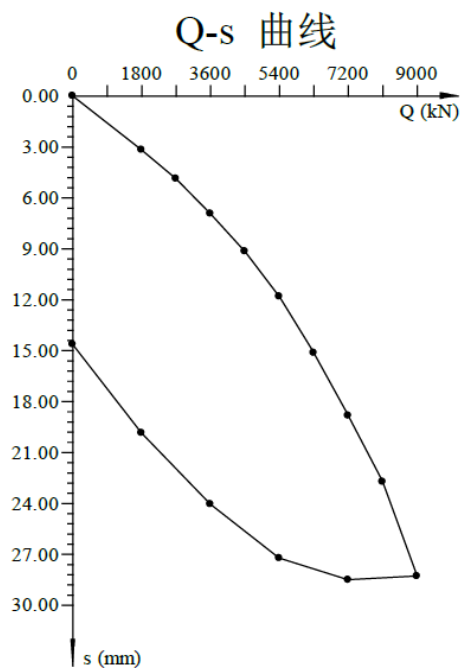
2、原始数据整理，绘制成下列图表：



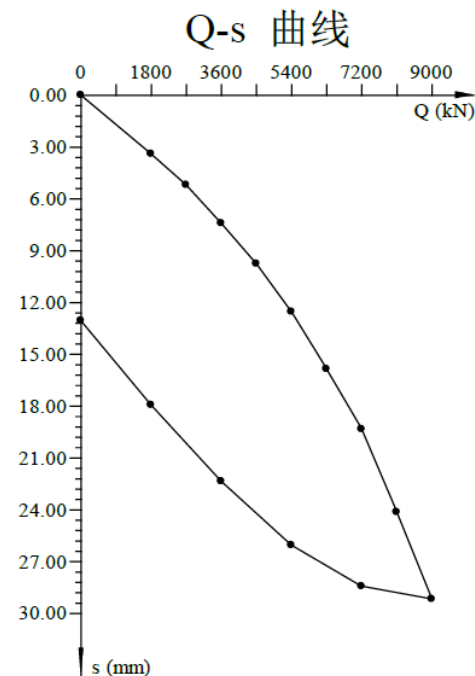
试桩检测



KS-1#



KS-2#



KS-3#

➡ 应用概况

在建设单位、设计单位和施工单位大力支持下，本项目共计应用了3347根桩端后注浆UHC管桩代替钻孔灌注桩，大部分环境宽松区域的桩端后注浆UHC管桩直接采用静压沉桩工艺施工，施工工效为12-13根/台班；部分紧邻一期建筑的桩端后注浆UHC管桩采用搅拌植入工艺施工，施工工效为4-6根/台班。采用桩端后注浆UHC管桩代替钻孔灌注桩，产生显著的经济效益和社会效益：

- **降低桩基造价。**与钻孔灌注桩方案相比，工程造价降低超过40%，经济效益极为显著；
- **缩短施工工期。**在不到50天时间内，7台桩机完成了3000余根桩端后注浆预制桩施工；
- **减少泥浆排放。**采用桩端后注浆UHC管桩代替钻孔灌注桩，减少泥浆排放约31万立方米。



② 工程概况

为检验搅拌桩端后注浆预制桩的承载性能和在城市高架桥梁工程应用的技术可行性，在上海城投公路投资（集团）有限公司大力支持和精心组织下，在军工路快速路新建工程 I 标段进行了3根搅拌植入桩端后注浆UHC管桩设计试桩。3根试桩呈直线布置，间距6m。



试桩平面布置图



➡ 地质概况

根据QLG23钻孔资料，⑧2层灰色粉砂夹黏土层顶埋深约56.7m。



QLG23钻孔柱状图

土质编号	土质名称	起始深度 (m)	终止深度 (m)	厚度 (m)	柱状图	描述备注	土工试验										标准入射试验			
							取样深度 (米)	含水率 (w%)	密度 (g/cm³)	比重 (Gs/cm³)	孔隙比 eo	固性指数 Ip	液限 kPa	塑限 kPa	液塑比	压缩系数	压缩模量	编号	起始深度 (m)	终止深度 (m)
Q1	填土	1.40	2.44	1.40		土质杂填，含碎石、碎块、煤渣等垃圾堆积。	●1.50	34.00	1.89	2.73	0.94	15.50	17.00	18.70	0.48	4.07				
Q1	粉质粘土	2.50	1.34	1.10		含氧化铁斑点及铁质结核，无膨胀反应，干强度中等，韧性中等，稍有光泽。	●2.00	28.60	1.90	2.72	0.84	12.90	15.00	23.90	0.29	6.30				
Q1	淤泥质粉质粘土	4.00	-0.16	1.50		土质不均，含有机质和炭屑，局部夹少量铁质粘土，无膨胀反应，干强度中等，韧性中等，稍有光泽。	●2.50	37.40	1.80	2.73	1.08	14.50	12.00	19.40	0.72	2.90				
Q2	粉质粘土	6.90	-3.06	2.90		土质不均，含云母，夹少量黄褐色粉质粘土，无膨胀反应，干强度低，韧性低，无光泽。	●4.00	30.30	1.89	2.71	0.87				0.19	9.87				
Q3	淤泥质粉质粘土	10.50	-6.66	3.60		土质不均，含有机质和炭屑，局部夹贝壳类，无膨胀反应，干强度中等，韧性中等，稍有光泽。	●5.50	31.70	1.90	2.71	0.88		8.00	28.40	0.21	8.75				
						●7.00	38.70	1.81	2.72	1.08	13.20	10.00	25.10	0.50	4.16					
						●9.00	42.30	1.77	2.73	1.19	16.00	13.00	14.10	0.84	2.62					
Q4	粉质粘土	19.00	-15.16	8.50		土质不均，含有机质和炭屑，局部夹贝壳类，无膨胀反应，干强度低，韧性低，切面光滑。	●11.00	50.00	1.71	2.75	1.41	20.50	12.00	12.40	1.09	2.21				
						●13.00	54.50	1.67	2.75	1.54	23.60	12.00	11.90	1.35	1.88					
Q5	粉质粘土	28.00	-24.16	9.00		土质不均，含云母和有机质，局部夹黄褐色粘土，干强度低，韧性低，稍有光泽。	●16.00	48.30	1.72	2.75	1.37	20.10	14.00	13.50	1.00	2.36				
						●19.00	41.70	1.77	2.74	1.19	19.60	14.00	11.60	0.86	2.56					
						●21.00	37.40	1.82	2.74	1.07	18.10			0.59	3.48					
					●23.00	34.80	1.84	2.72	0.99	13.90			0.42	4.75						
Q6	粉质粘土	34.50	-30.66	6.50	土质不均，含云母，夹少量黄褐色粘土，无膨胀反应，干强度低，韧性低，无光泽。	●26.00	36.90	1.82	2.73	1.05	16.10	18.00	20.50	0.53	3.86					
					●29.00	32.40	1.82	2.71	0.97		7.00	30.50	0.37	5.34						
Q7	粉质粘土	36.00	-32.16	1.50	含云母，铁质结核，局部夹黄褐色粘土，无膨胀反应，稍有光泽，干强度中等，韧性中等。	●32.00	31.20	1.83	2.71	0.84	7.00	28.60	0.30	6.54						
Q8	粉质粘土	39.45	-35.61	3.45	含云母，铁质结核，无膨胀反应，稍有光泽，干强度中等，韧性中等。	●35.00	25.20	1.96	2.73	0.74	15.10	26.00	22.30	0.30	5.90					
					●36.00	23.90	2.02	2.73	0.67	14.70	47.00	18.40	0.26	6.47						
Q9	粉质粘土	41.75	-37.91	2.30	含云母，铁质结核，无膨胀反应，稍有光泽，干强度中等，韧性中等。	●37.00	23.80	2.01	2.73	0.68	15.70	46.00	19.20	0.24	7.04					
					●39.00	22.80	2.02	2.73	0.66	15.60	47.00	19.80	0.25	6.66						
Q10	粉质粘土	47.75	-37.91	2.30	含云母，土质不均，无膨胀反应，无光泽，干强度低，韧性低。	●41.00	23.60	1.98	2.71	0.69		11.00	29.70	0.18	9.46					
					●45.00	34.10	1.84	2.73	0.99	15.20			0.50	4.02						
					●49.00	35.00	1.84	2.73	1.00	15.20	14.00	20.60	0.45	4.43						
					●53.00	30.90	1.89	2.72	0.88	12.80	15.00	23.30	0.32	5.92						
Q11	粉质粘土	56.70	-52.86	14.95	含云母，少量有机质，夹黄褐色粘土，无膨胀反应，稍有光泽，干强度中等，韧性中等。	●56.00	30.10	1.87	2.73	0.90	14.50	15.00	23.60	0.33	5.83					
					●58.00	27.20	1.89	2.71	0.82		2.00	35.30	0.23	7.80						
					●60.00	24.60	1.92	2.71	0.76				0.70	17.68						
					●62.00	25.20	1.92	2.71	0.77		3.00	32.70	0.20	8.77						
Q12	粉砂	65.30	-61.46	8.60	含云母，石英，局部夹粉质粘土。	●65.00	27.40	1.90	2.71	0.82		3.00	32.00	0.22	8.37					



地质概况

桩基设计参数

层序	静力触探 Ps (Mpa)	钢管桩、PHC 桩		钻孔灌注桩		液化折 减系数
		fs(kPa)	fp(kPa)	fs(kPa)	fp(kPa)	
② ₁	0.709	15		15		
② ₃	2.771	6m 以上 15		6m 以上 15		10m 以上 2/3 10m 以下 1
		6-15m 30		6m 以下 25		
		15m 以下 40				
② _{3T}	/	15		15		
③	0.931	25		15		
④	0.724	30		20		
⑤ ₁	1.048	50		35		
⑤ _{1T}	2.291	50		40		
⑤ ₂	2.934	50		40		
⑤ ₃₁	2.233	60		50		
⑤ ₃₂	4.831	60	2500	50	1000	

层序	静力触探 Ps (Mpa)	钢管桩、PHC 桩		钻孔灌注桩		液化折 减系数
		fs(kPa)	fp(kPa)	fs(kPa)	fp(kPa)	
⑤ ₄₁	2.227	70		60		
⑤ ₄₂	6.440	70		60		
⑥	2.577	65		55		
⑦	4.491	75		55		
⑧ ₁	2.110	65		50		
⑧ ₂	13.508	85	5000	75	1800	
⑧ _{2T}	3.835	70		65		
⑨	19.572	110	8500	80	2400	

注：1、采用开口钢管桩、振动沉桩时，需根据相关规范要求分别考虑桩侧挤土效应、桩端闭塞效应和振动影响效应。

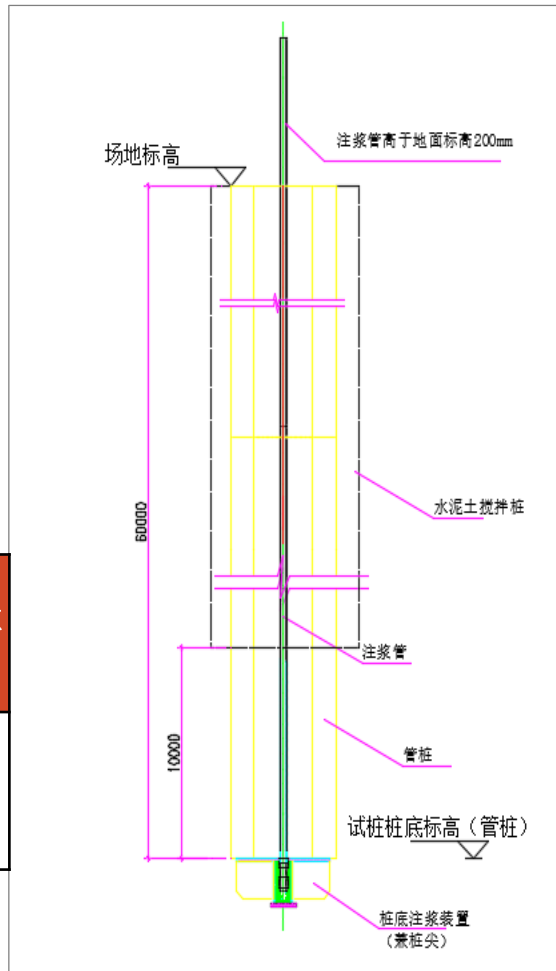
2、采用大直径灌注桩时，需根据相关规范要求考虑尺寸效应。

② 试桩设计

- 管桩规格为UHC 600 AB 130;
- 试桩长度60m，持力层为⑧2粉砂，入持力层深度约3.3m;
- 搅拌桩直径700mm，长度50m。深度25m以上，搅拌桩水泥掺量为10%，水灰比为1.8；深度25m以下，搅拌桩水泥掺量为20%，水灰比为1.2；
- 桩端后注浆水泥量为2.5t/根，水灰比为0.6；
- 静载试验采用慢速维持荷载法，预估最大加载值不小于9000kN，静载试验直至试桩破坏。

搅拌植入桩端后注浆UHC管桩试桩设计

管桩型号	试桩长度(m)	桩端持力层	预估承载力特征值(kN)	搅拌桩直径(mm)	搅拌桩深度(m)	搅拌桩施工技术参数		桩端后注浆设计		试桩加载值(kN)
								水灰比	水泥用量(t)	
UHC600AB130	约60	⑧层粉砂	4250	700	50	地面以下25m	掺量10%，水灰比1.8	0.6	2.5	9000
						地面25m以下	掺量20%，水灰比1.2			



② 试桩施工

试桩施工历时15天，主要工作节点如下：

- 2022年8月29日 施工设备进场；
- 2022年9月09日 设备组装完成并通过安全检测；
- 2022年9月10日 进行搅拌桩施工；
- 2022年9月11日 进行UHC管桩沉桩；
- 2022年9月12日 进行清水开塞和桩端后注浆。



② 试桩施工-搅拌桩施工

搅拌桩施工采用上海工程机械厂的JB180步履式单轴搅拌桩机，桩架高60m。成桩速度为90min /根。

- ❑ 搅拌桩长50m，孔径 $\varnothing 700\text{mm}$ ，采用PO42.5普通硅酸盐水泥。
- ❑ 地面至地面以下25m，水灰比采用1.8，泥浆比重1.31，水泥掺量10%；地面以下25m至桩底，水灰比采用1.2，水泥掺量20%，泥浆比重1.43。
- ❑ 搅拌桩施工时控制提升速度和下沉速度来达到设计要求的水泥掺量，下沉速度一般控制在0.5~1.0m/min，提升速度一般控制在1.0~2.0m/min。



② 试桩施工-静压管桩

单轴搅拌桩施工的同时，进行注浆管安装和注浆桩尖焊接。为检验注浆桩尖的性能，沉桩前进行通水试验。



② 试桩施工-静压管桩

验静压沉桩采用山河智能 ZYJ1060-Ⅲ液压静力压桩机，沉桩速度为2.5h/根。管桩吊运过程中注意防止注浆管坠落，注浆管连接采用生胶带密封，防止漏浆。沉桩终压力分别为第一根553.5t，后两根627.3t。



上海建工机械公司
施工内容: 单轴高深搅拌桩
拍摄时间: 2022.09.11 13:04
天气: 阴 28℃
地点: 上海市·上海景凌物流发展有限公司
施工单位: 上海开本基础工程有限公司
桩长: ; 桩长: 60米

② 试桩施工-桩端后注浆

- ❑ 沉桩到位后，立即进行清水开塞，开塞压力在6~8MPa。
- ❑ 最后进行桩端后注浆，后注浆采用PO42.5水泥拌制，水灰比0.6，泥浆比重1.71，单桩水泥用量为2.5t。注浆压力在2.5~3.5MPa，注浆速度为1.5h/根。





➡ 试桩施工-桩端后注浆

试桩施工记录汇总

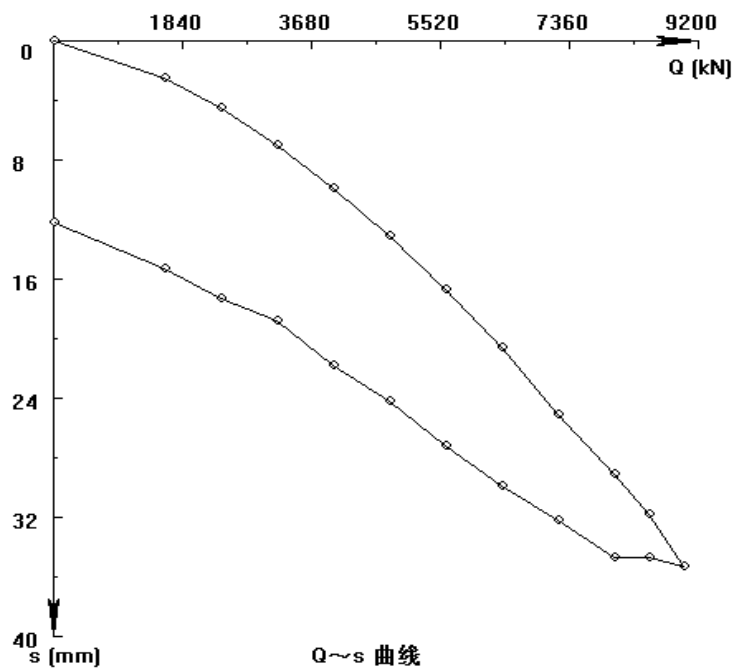
试桩编号	搅拌桩施工耗时 (min)	管桩沉桩耗时 (min)	沉桩终压力 (kN)	清水开塞 压力(MPa)	注浆耗时 (min)	注浆压力 (MPa)	注浆量 (t)
SZ1	90	155	5535	6.3	91	2.8	2.5
SZ2	94	126	6273	7.6	76	3.3	2.5
SZ3	98	134	6273	7.8	89	3.5	2.5

② 试桩施工-弃土分析

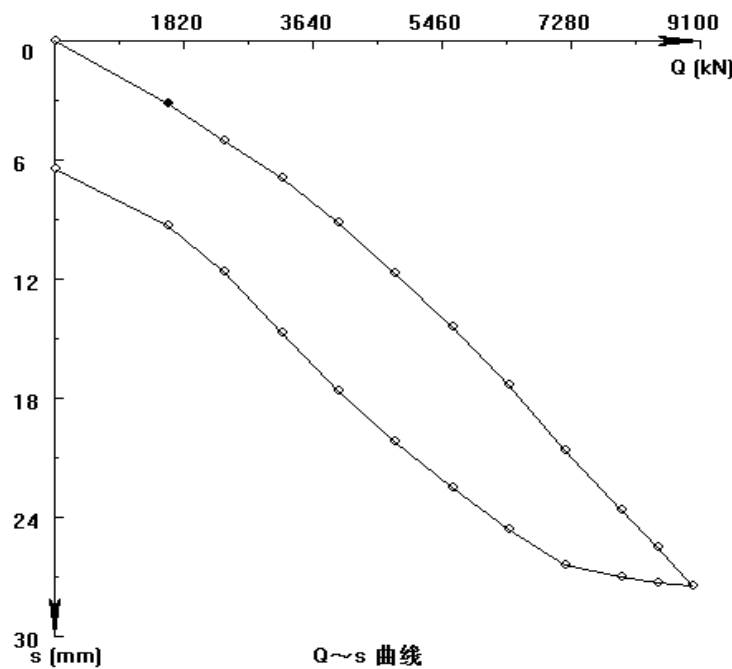
试桩施工结束后，测算了水泥土排放量，约为 $6\text{m}^3/\text{根}$ ，弃土工作量少。



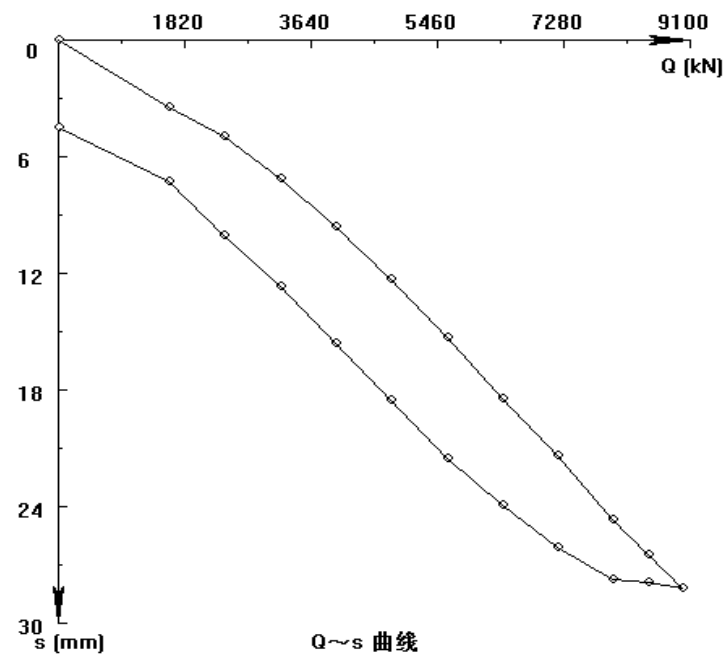
试桩检测



SZ1



SZ2



SZ3

搅拌植入桩端后注浆UHC管桩试桩检测结果



➡ 试桩检测

搅拌植入桩端后注浆UHC管桩试桩检测结果汇总表

序号	桩型	试桩长度 (m)	搅拌桩桩径 (mm)	搅拌桩长度 (m)	最终压桩力 (kN)	最大试验荷载 (kN)	最大沉降量 (mm)	卸荷回弹量 (mm)	卸荷回弹率 (%)	单桩竖向抗压 承载力极限值 (kN)
SZ1#	UHC-600AB(130)	60	700	50	5535	9000	35.34	23.11	65.39	不小于9000
SZ2#	UHC-600AB(130)	60	700	50	6273	9000	27.50	21.02	76.44	不小于9000
SZ3#	UHC-600AB(130)	60	700	50	6273	9000	28.26	23.70	83.86	不小于9000

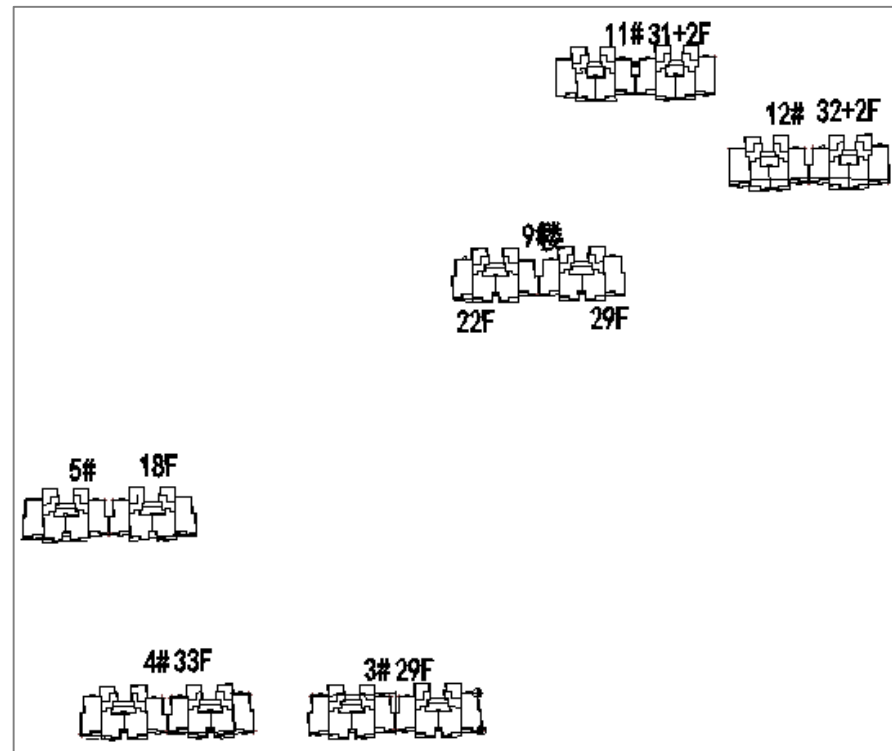
搅拌植入桩端后注浆UHC管桩加载至最大加载值9000kN，试桩仍然未达到承载力极限状态，回弹率高达65.39%以上，说明试桩存在很大的承载潜力，完全能够代替φ800钻孔灌注桩作为高架道路桩基！

➡ 工程概况

本次试桩为为太原市尖草坪区三给片区摄乐村城中村改造C01地块，主要是6栋高层住宅，建筑物基本情况如下表：

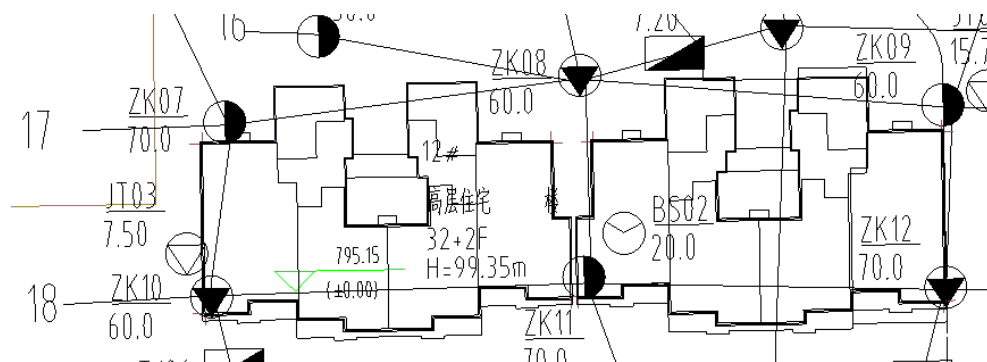
拟建建筑物基本情况一览表

建筑物	地上层数	地下室(层)	整平标高(m)	基础埋深(m)	基底标高(m)	结构类型	基础形式
3#住宅	29F	1	798.60	6.1	792.25	剪力墙	桩基+承台梁
4#住宅	33F	1	802.20	6.1	796.05	剪力墙	桩基+承台梁
5#住宅	18F	1	802.20	6.1	796.25	剪力墙	桩基+承台梁
9#住宅	22+29F	1	798.60	6.1	788.65	剪力墙	桩基+承台梁
11#住宅	33F	2	798.60	6.1	788.85	剪力墙	桩基+承台梁
12#住宅	32F	2	795.00	6.1	792.50	剪力墙	桩基+承台梁

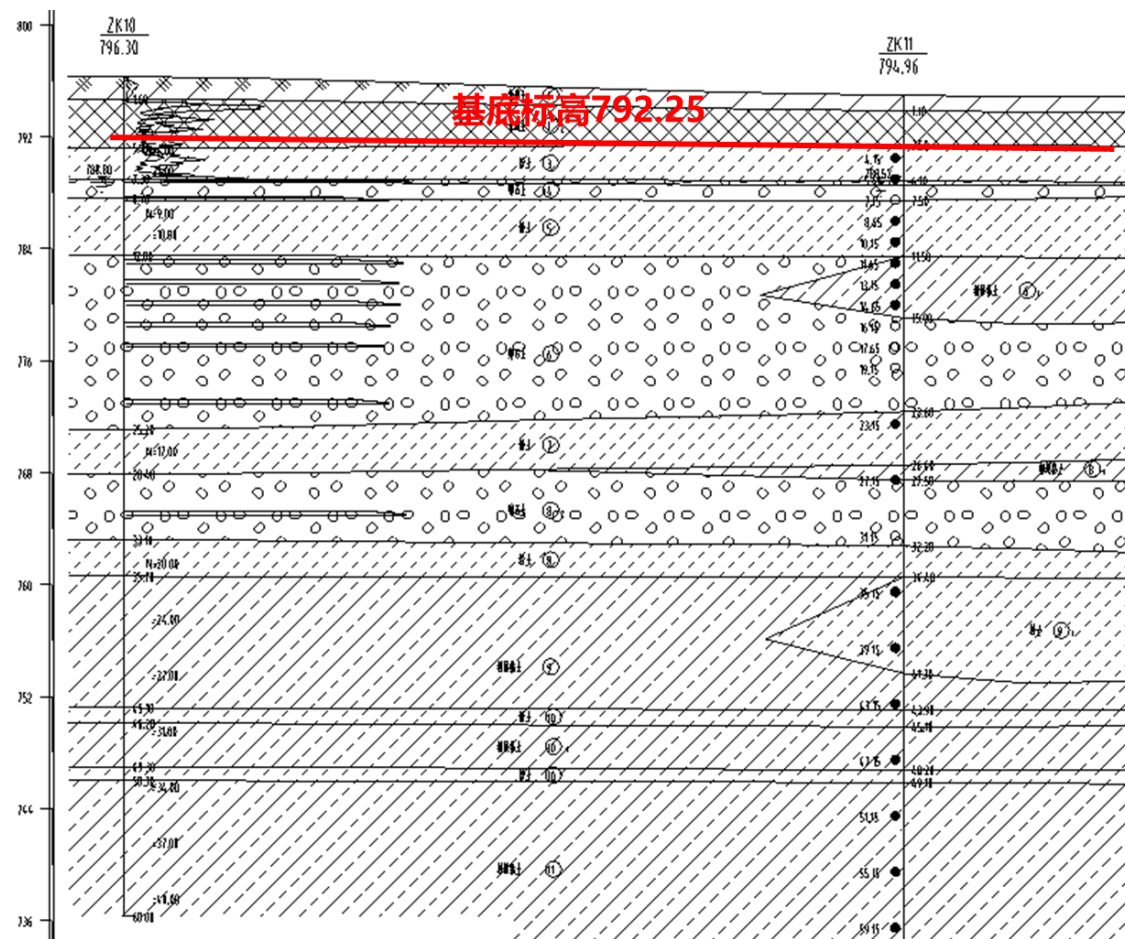


工程应用-太原旭辉SL-C01地块

地质概况-12#楼



基底以下主要为：③层粉土、④层卵石土、⑤层粉土、⑥层卵石土、第⑦层粉土，⑧2卵石土、⑧层粉土、⑨粉质黏土、⑩层粉土、⑩1层粉质黏土、⑪粉质黏土。





➡ 试桩设计

引孔植入桩端后注浆UHC管桩试桩设计

管桩型号	试桩长度 (m)	桩端持力层	引孔直径 (mm)	引孔深度 (m)	水泥浆置换		终压力 (kN)	桩端后注浆		预估承载力 特征值(kN)	试桩加载值 (kN)
					水灰比	水泥用量(t)		水灰比	水泥用量(t)		
UHC 600 AB 130	约28	⑧2层卵石	600	20-25	0.7	约2.0	7500	0.6	2.0	4000	8000

➡ 试桩施工



旋挖引孔



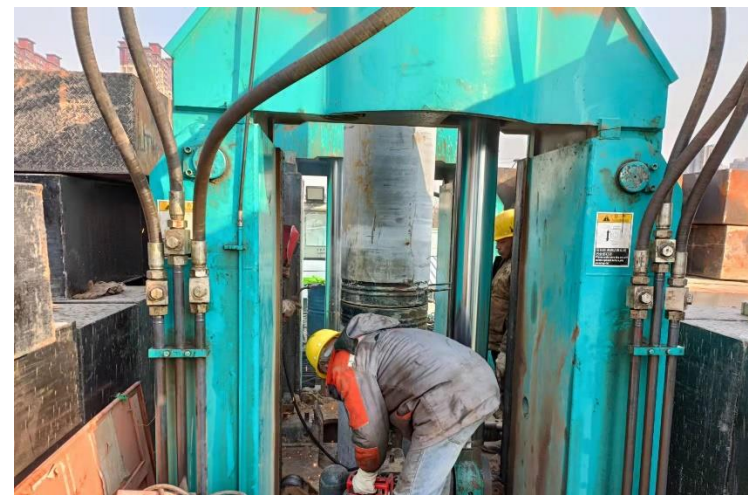
水泥浆置换



桩尖焊接



管桩吊运



接桩



静压沉桩



清水开塞



桩端注浆



漏浆探测



专家观摩



➡ 试桩施工

试桩施工记录

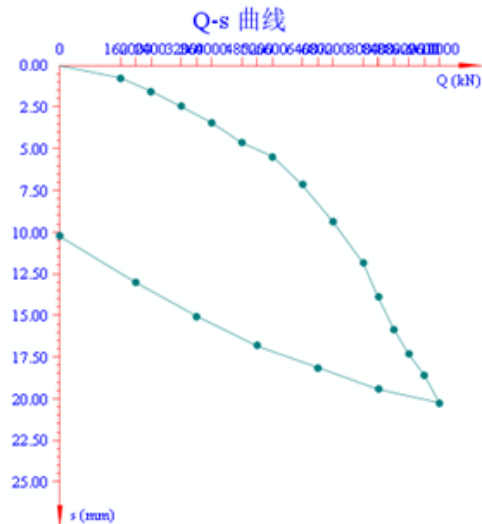
试桩编号	桩型	试桩总长 (m)	引孔直径 (mm)	引孔深度 (m)	泥浆置换 (t)	清水开塞 压力(MPa)	最终压桩力 (kN)	注浆压力 (MPa)	注浆量 (t)
SZ12a	UHC-600 AB (130)	28.20	600	25.00	2.5	5.5	7500	2.5	2.0
SZ12b	UHC-600 AB (130)	27.05	600	20.00	2.0	8.0	7800	2.5	2.0
SZ12c	UHC-600 AB (130)	26.50	600	20.00	2.0	7.0	7800	2.5	2.0



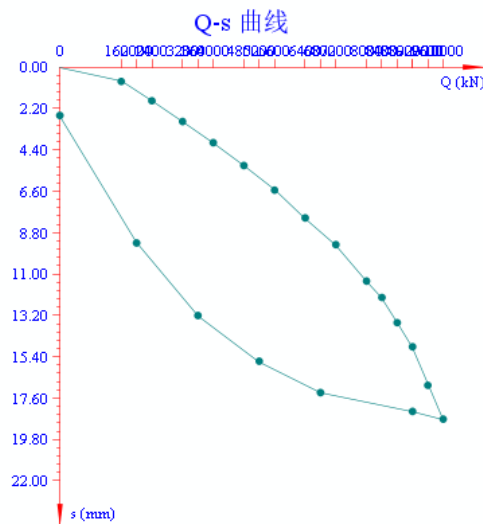
试桩结果

引孔植入桩端后注浆UHC管桩试桩检测结果汇总表

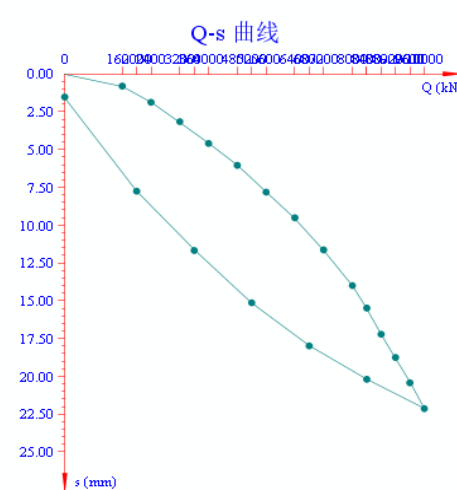
桩号	桩径 (mm)	试桩长度 (m)	最终压桩力 (kN)	最大试验荷载 (kN)	最大沉降量 (mm)	卸荷后残余 沉降量(mm)	卸荷回弹率 (%)	单桩竖向抗压承 载力极限值(kN)
SZa	600	28.20	7500	10000	20.28	10.23	49.56	10000
SZb	600	27.05	7800	10000	22.14	1.53	93.1	10000
SZc	600	26.50	7800	10000	18.72	2.57	86.3	10000



试桩SZa静载检测曲线



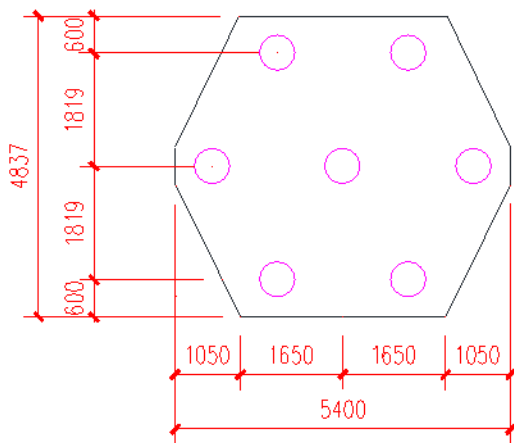
试桩SZb静载检测曲线



试桩SZc静载检测曲线

工程应用表明，桩端后注浆预制桩优点显著，具有良好的推广应用前景：

- ❑ **材料节约多**。通过桩端后注浆大幅度提高承载力，能代替钻孔灌注桩，节约大量材料；
- ❑ **施工速度快**。采用工厂预制，现场沉桩的方式施工，施工速度是钻孔灌注桩的4--8倍；
- ❑ **施工质量好**。构件工预制桩身质量容易保证，原状土中注浆不存在水泥浆跑浆的问题；
- ❑ **工程造价省**。材料节约、施工高效、成本低廉，工程造价较钻孔灌注桩节约30%以上。



$37\text{m}^3 \rightarrow 14\text{m}^3$



节约承台造价
60%以上

