

# 温州三江世贸 2012-30#东地块 桩基工程

## 设计 建议



**上海强劲地基工程股份有限公司**  
SHANGHAI QIANGJIN FOUNDATION ENGINEERING CO.,LTD.

# 目 录

一、工程概况.....	- 1 -
二、设计依据.....	- 1 -
三、桩基设计思路.....	- 2 -
3.1 桩基选型思路.....	- 3 -
四、桩基优化设计计算及造价对比.....	- 6 -
4.1 劲性复合桩设计计算依据 .....	- 6 -
4.2 工程桩优化设计 .....	- 8 -
4.3 设计概算.....	- 14 -
五、工程案例.....	- 15 -
5.1 禹洲·南京 NO.2014G55 地块住宅项目 .....	- 15 -
5.2 丛化富景美居桩基项目 .....	- 17 -
5.3 上海新江湾城 02-1 地块商品住宅项目 .....	- 19 -



## 一、工程概况

拟建工程位于永嘉县瓯北三江街道，七楠瓯大道以南，江浦路以西，中心大道以北，南临瓯江。拟建 2012-30#东地块总用地面积 27221 m<sup>2</sup>，总建筑面积约 71149 m<sup>2</sup>，建筑占地面积 7700 m<sup>2</sup>。拟建工程由 6 幢 26~32 层的高层住宅楼、1~2 层多层裙房及全场下设 1 层地下室组成。

根据业主提供的《基础图》，原设计采用机械钻孔灌注桩，桩型及各参数如下表：

表 1-1 钻孔灌注桩参数表

编号	桩型	持力层	单桩抗压承载力设计值	单桩抗拔承载力设计值	桩数	备注
YZ1	Φ 700 钻孔灌注桩	10.3 中风化	3750kN	/	502	抗压桩
BZ1	Φ 600 钻孔灌注桩	10.3 中风化	2300kN	500kN	275	抗压兼抗拔桩
BZ2	Φ 700 钻孔灌注桩	10.3 中风化	3000kN	500kN	110	抗压兼抗拔桩

## 二、设计依据

1、《温州三江世贸 2012-30#东地块岩土工程勘察报告（详勘）》，温州市勘察测绘设计研究院。

2、相关规范规程及技术要求：

- 📖 国家标准《建筑地基基础设计规范》（GB50007-2011）
- 📖 国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》（GB50202-2002）（2012版）
- 📖 行业标准《建筑桩基技术规范》（JGJ 94-2008）
- 📖 国家标准《混凝土结构设计规范》（GB 50010-2010）
- 📖 国家标准《建筑结构荷载规范》（GB50009-2012）
- 📖 行业标准《劲性复合桩技术规程》（JGJ/T 327-2014）
- 📖 国家建筑标准设计图集《预应力混凝土管桩》（10G409）
- 📖 其它相关的规范、规程和技术标准

3、桩基设计参数

根据勘察资料提供的桩基设计参数如下：

表 2-1 桩基设计参数表

地层编号	地层名称	地基承载力特征值 $f_{ak}$ (kPa)	压缩模量 $E_s$ (MPa) 100-200 kPa	桩侧土阻力特征值 $q_{sia}$ (kPa)		桩端土阻力特征值 $q_{pa}$ (kPa)	
				预制桩	灌注桩	预制桩	灌注桩
① <sub>2</sub>	粘土	75	3.1	12	11		
② <sub>1</sub>	淤泥	42	1.7	5	4		
② <sub>1</sub>	含粉砂淤泥	45	1.8	5	4.5		
② <sub>3</sub>	粉砂夹淤泥	80	6.0	15	13		
② <sub>4</sub>	中砂夹淤泥	110	9.0	20	18		
② <sub>5</sub>	淤泥	55	2.4	10	8		
③ <sub>1</sub>	淤泥质粘土	65	2.8	12	10		
④ <sub>2</sub>	粘土	130	5.5	22	20	600	200
④ <sub>31</sub>	圆砾	200	(20.0)	40	36	3000	1500
④ <sub>32</sub>	卵石	300	(30.0)	50	45	4000	2000
④ <sub>33</sub>	漂石	450	(40.0)	55	50	5000	2500
⑤ <sub>2</sub>	粉质粘土	120	5.3	20	18	500	180
⑤ <sub>3</sub>	圆砾	200	(18.0)	40	36	3000	1500
⑥ <sub>2</sub>	粉质粘土	130	5.5	22	20	600	200
⑥ <sub>3</sub>	卵石	300	(30.0)	50	45	4000	2000
⑦ <sub>1</sub>	粘土	150	6.5	26	24	800	260
⑨ <sub>1</sub>	含碎石粉质粘土	170	8.0	30	28	1100	350
⑨ <sub>2</sub>	块石	450	(40.0)	55	50	5000	2500
⑩ <sub>1</sub>	全风化基岩	160	7.0	28	26	1000	330
⑩ <sub>2</sub>	强风化基岩	400			50		2200
⑩ <sub>3</sub>	中风化基岩	2500			110		5500

单桩抗拔承载力系数：粘性土、软土取 0.7，碎石土类取 0.6，强风化基岩 0.7，中风化基岩 0.9

#### 4、地层条件

场地典型地质剖面图如图 2-1 所示。

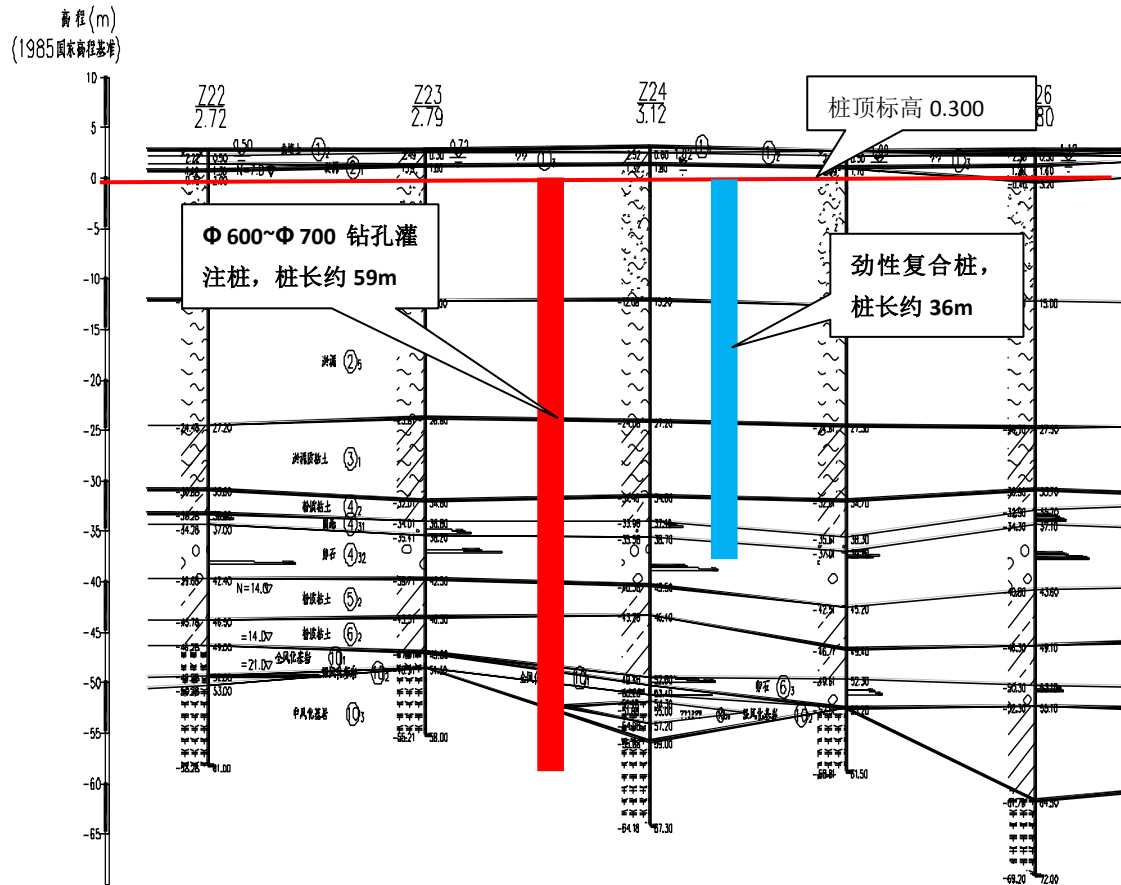


图 2-1 典型地质剖面图

### 三、桩基设计思路

#### 3.1 桩基选型思路

根据场地的地质条件和建筑物的特点，本工程桩基可以采用的桩型有灌注桩和劲性复合桩，如采用灌注桩，存在以下问题：

1. 灌注桩施工时，易产生塌孔、缩颈等问题。
2. 泥浆外溢，对环保不利。
3. 灌注桩桩长较长，施工难度较高、混凝土灌注较为困难、质量难以保证。
4. 单桩施工周期较长，不利于节约工期。

考虑现场实际情况，建议采用劲性复合桩工艺，即能满足引孔要求，也能达到承载力要求，劲性复合桩是现有常规桩型优化改造后的一种先进工艺，可充分发挥地基土与桩材的复合作用。该工艺采用先深层搅拌桩机成孔注浆搅拌，在搅拌后的水泥土未初凝前植入预应力混凝土管桩，构成水泥土劲性植桩（如图 2~3 所示）。其施工便捷且具备经济效益，主要特点如下：

- 1、承载力较高（注入水泥浆加固了桩周土体，提高了桩端阻力及桩侧摩擦力）；
- 2、施工工艺属非挤土工艺（搅拌成孔后植桩），对周边环境无影响；
- 3、成桩速度快，可提高工效，缩短工期；
- 4、预应力高强混凝土管桩由工厂加工，质量可靠，植桩采用成熟的设备及工艺，易于操作。

劲性复合桩的施工工艺示意图及流程如图 3-1~3-2 所示。

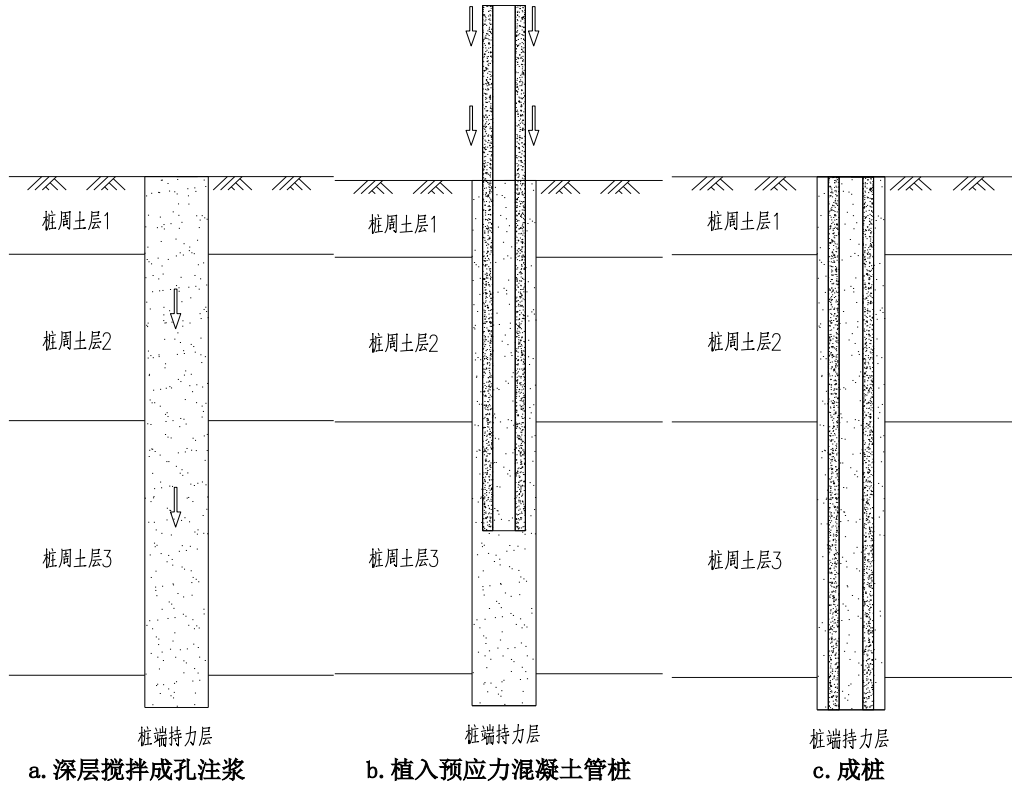


图 3-1 劲性复合桩施工工艺示意图

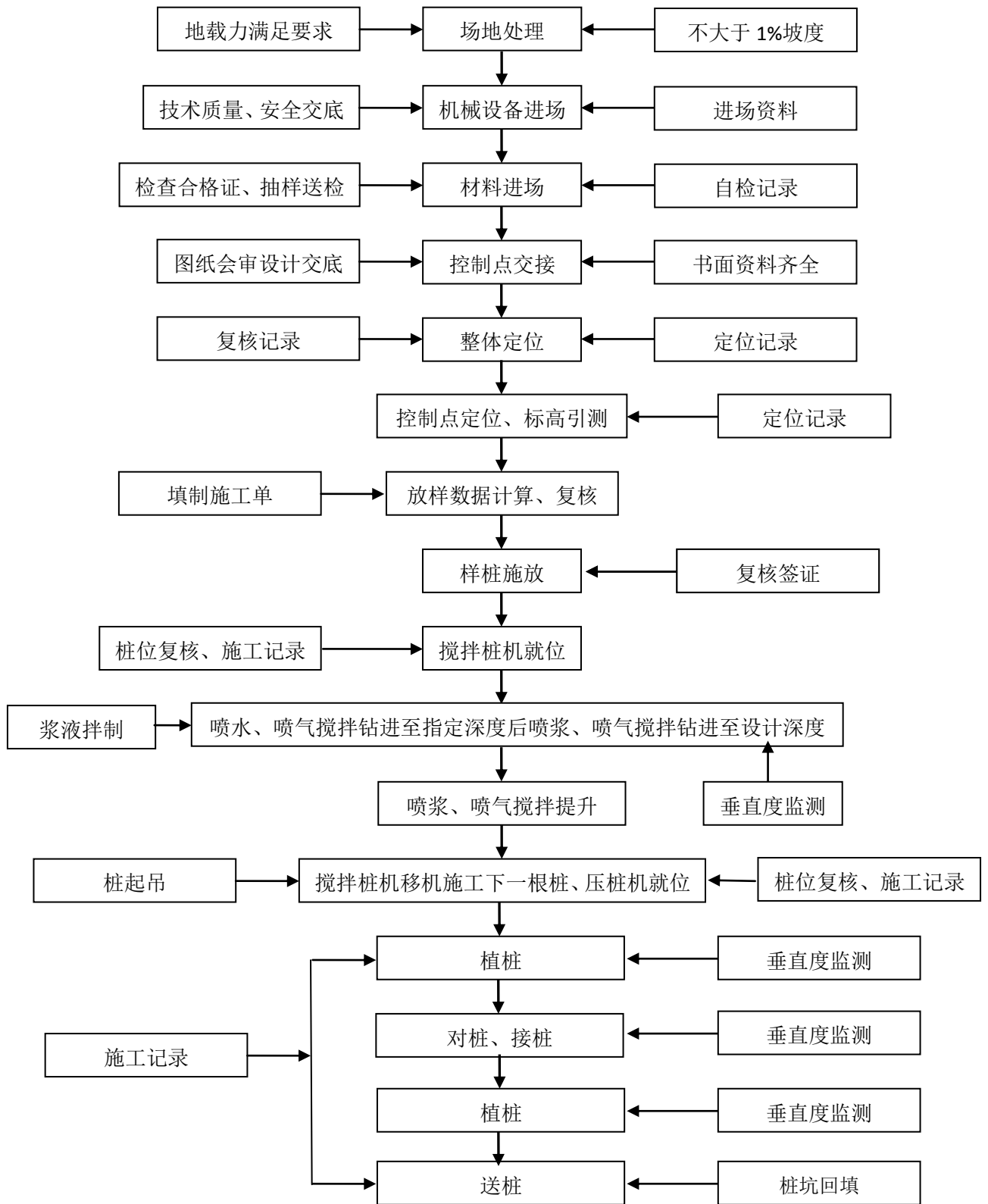


图 3-2 劲性复合桩施工流程图



## 四、桩基优化设计计算及造价对比

### 4.1 劲性复合桩设计计算依据

#### 1. 单桩抗压承载力特征值计算

1) 破坏面位于芯桩与水泥石界面:

$$R_{a1} = u_1 q_{sa}^c l^c + q_{pa}^c A_p^c$$

式中:  $u_1$ ——植入预制桩的桩身周长 (m);

$l^c$ ——植入预制桩长度 (m);

$A_p^c$ ——植入预制桩桩身截面积 ( $m^2$ )

$q_{sa}^c$ ——水泥石与预制桩间侧阻力特征值 (kPa), 宜按地区经验取值。无地区经验时, 宜取室内相同配比水泥石试块在标准条件下 90d 龄期的立方体 (70.7mm) 无侧限抗压强度的 (0.04~0.08) 倍;

$q_{pa}^c$ ——预制桩的端阻力特征值 (kPa), 宜按地区经验取值。

2) 破坏面位于水泥石与原状土界面:

$$R_{a2} = u_2 \sum_{i=1}^n \xi_{si} q_{si} l_i + \alpha \xi_p q_{pa} A_p$$

式中:  $u_2$ ——水泥石搅拌桩外芯的桩身周长 (m);

$l_i$ ——第  $i$  层土的厚度 (m);

$A_p$ ——水泥石搅拌桩桩身截面积 ( $m^2$ )

$q_{sia}$ ——第  $i$  层土侧阻力特征值 (kPa), 宜按地区经验取值;

$q_{pa}$ ——水泥石搅拌桩端阻力特征值 (kPa), 宜按地区经验取值。也可取桩端地基土未经修正的承载力特征值;

$\alpha$ ——桩端天然地基土承载力折减系数, 取 0.8~0.9;

$\xi_{si}$ 、 $\xi_p$ ——分别为植入组合桩第  $i$  土层侧阻力调整系数、端阻力调整系数, 宜按地区经验取值。

根据上海市工程建设规范《地基基础设计规范》(DGJ08-11-2010) 第 7.2.4 条, 当没有进行桩的静载荷试验时, 按地基土对桩的支承能力确定单桩竖向承载力设计值  $R_d$  可根据土层条件由下式估算:

$$R_d = \frac{R_{sk}}{\gamma_s} + \frac{R_{pk}}{\gamma_d}$$

式中：  $R_{sk}$  ——桩侧总极限摩阻力标准值（kN）；

$R_{pk}$  ——桩端极限阻力标准值（kN）；

$\gamma_s$  ——桩侧摩阻力的分项系数，可按端阻比查用；

$\gamma_p$  ——桩端阻力的分项系数，可按端阻比查用。

取两者较小值，即：  $R_d = \min(R_{d1}, R_{d2})$ 。

## 2. 单桩抗拔承载力特征值计算

1) 破坏面位于预制桩与水泥土界面：

$$T_{u1} = u_1 \lambda^c q_{sa}^c l^c$$

式中：  $\lambda^c$  ——植入预制桩的抗拔系数，宜按地区经验取值，无地区经验时，可取 0.70~0.90；

2) 破坏面位于水泥土与原状土界面：

$$T_{u2} = u_2 \sum_{i=1}^n \lambda \xi_{si} q_{sai} l_i$$

式中：  $\lambda$  ——水泥土搅拌桩的抗拔系数，宜按地区经验取值；

取两者较小值，即：  $T_u = \min(T_{u1}, T_{u2})$

## 4.2 工程桩优化设计

1、原灌注桩 YZ1：原设计采用Φ 700 钻孔灌注桩，桩长约 59.0m，持力层为 10.3 中风化基岩，单桩承载力特征值 3750kN；试桩桩长约 62.0m，承载力极限值 7600kN，承载力验算如表 4-1：

表 4-1 原灌注桩 YZ1 单桩承载力计算表

普通桩径 (mm)		桩周长(m)	截面面积 (m <sup>2</sup> )	试桩桩长L	工程桩桩长l	孔号	Z24
700		2.20	0.38465	59.0	56.0	端阻力标准值 $q_p$ (kPa)	11000
土层序号	土层名称	侧摩阻力标准值 $q_{s_i}$ (KPa)	桩在土层长度 (m)	土层实际厚度 (m)	抗拔系数 $\lambda$	抗压侧阻力 (kN)	抗拔侧阻力 (kN)
①2	粘土	22	1.8	1.8		87.1	0.0
②4	中砂夹淤泥	36	0.6	0.6		47.5	0.0
②4	中砂夹淤泥	36	12.8	12.8		1013.4	0.0
②5	淤泥	16	12	12		422.2	0.0
③1	淤泥质粘土	20	7.4	7.4		325.5	0.0
④2	粘土	40	1.8	1.8		158.3	0.0
④31	圆砾	72	1.6	1.6		253.3	0.0
④32	卵石	90	4.8	4.8		950.0	0.0
⑤2	粉质粘土	36	2.9	2.9		229.6	0.0
⑥2	粉质粘土	40	6.2	6.2		545.4	0.0
⑥3	卵石	90	0.8	0.8		158.3	0.0
⑩2	强风化	100	5.6	5.6		1231.5	0.0
⑩3	中风化	220	0.1	未揭穿		48.4	0.0
试桩单桩抗拔承载力标准值 (kN)							
试桩单桩抗压承载力标准值 (kN)			9701.7				
工程桩单桩抗拔承载力设计值 (kN)							
工程桩单桩抗压承载力设计值 (kN)			4783.5				

优化后采用等芯劲性复合桩 ZH1，内芯：PHC600 AB 110 管桩，外芯采用Φ800 水泥土搅拌桩，工程桩桩长  $L=36.0\text{m}$ ，单桩抗压承载力设计值  $3750\text{kN}$ ，试桩桩长  $L=39.0\text{m}$ ，单桩抗压承载力标准值  $7600\text{kN}$ 。承载力验算如表 4-2 所示：

表 4-2 劲性复合桩 ZH1 单桩承载力计算表

内芯				外芯				内芯端阻力特征值 (kPa)	内芯总端阻力 (kN)		孔号：		
桩径 (mm)	600			扩底桩径 (mm)	800			500	141.4		Z24		
周长 (m)	1.8850			周长 (m)	2.5133			外芯端阻力标准值 (kPa)	提高系数	试桩桩长	工程桩桩长		
桩端面积 (m <sup>2</sup> )	0.2827			桩端面积 (m <sup>2</sup> )	0.5027			120	1.98	39.0	36.0		
编号	土层	侧阻力特征值 (kPa)	土层实际厚度 (m)	桩在土层厚度 (m)	抗拔系数	水泥土抗压强度 (kPa)	粘结强度系数	侧阻提高系数	桩侧抗拔承载力 (kN)		桩侧抗压承载力 (kN)		
									内芯	外芯	内芯	外芯	
②	粘土	22	1.8	1.8		1200	0.06	1.5	0.00	0.00	74.6	74.6	
④	中砂夹淤泥	36	0.6	0.6		1200	0.06	1.5	0.00	0.00	40.7	40.7	
④	中砂夹淤泥	36	12.8	12.8		1200	0.06	1.5	0.00	0.00	1737.2	1737.2	
⑤	淤泥	16	12	12		800	0.06	1.3	0.00	0.00	1085.7	627.3	
①	淤泥质粘土	20	7.4	7.4		800	0.06	1.3	0.00	0.00	669.5	483.6	
②	粘土	40	1.8	1.8		1200	0.06	1.5	0.00	0.00	244.3	271.4	
③1	圆砾	72	1.6	1.6		1800	0.06	1.7	0.00	0.00	325.7	492.2	
③2	卵石	90	4.8	0.4		1800	0.06	1.7	0.00	0.00	81.4	153.8	
⑤2	粉质粘土	36	2.9	0		1200	0.06	1.5	0.00	0.00	0.0	0.0	
工程桩抗拔承载力设计值 (内芯)				0				工程桩抗压承载力设计值 (内芯)		2548			
工程桩抗拔承载力设计值 (外芯)				0				工程桩抗压承载力设计值 (外芯)		3885			
试桩抗拔承载力标准值 (内芯)				0				试桩抗压承载力标准值 (内芯)		8522			
试桩抗拔承载力标准值 (外芯)				0				试桩抗压承载力标准值 (外芯)		8001			

根据国家标准建设图集《预应力混凝管桩》(10G409)，PHC 600 AB 110 管桩，C105 混凝土强度等级，桩身强度设计值  $5532\text{kN} > 1.35 \times 3750 = 5062\text{kN}$ ，满足要求。

2、原灌注桩 BZ1：原设计采用Φ 600 钻孔灌注桩，桩长约 53.0m，持力层为 10.3 中风化基岩，单桩抗压承载力特征值 2300kN，抗拔承载力特征值 500kN；试桩桩长约 56.0m，抗拔承载力极限值 1100kN，承载力验算如表 4-3：

表 4-3 原灌注桩 BZ1 单桩承载力计算表

普遍桩径 (mm)		桩周长 (m)	截面积 (m <sup>2</sup> )	试桩桩长L	工程桩桩长l	孔号	Z24
600		1.88	0.2826	56.0	53.0	端阻力标准值q <sub>sp</sub> (kPa)	4400
土层序号	土层名称	侧摩阻力标准值q <sub>sk</sub> (kPa)	桩在土层长度 (m)	土层实际厚度 (m)	抗拔系数λ	抗压侧阻力 (kN)	抗拔侧阻力 (kN)
①2	粘土	22	1.8	1.8	0.7	74.6	52.3
②4	中砂夹淤泥	36	0.6	0.6	0.7	40.7	28.5
②4	中砂夹淤泥	36	12.8	12.8	0.7	868.6	608.0
②5	淤泥	16	12	12	0.7	361.9	253.3
③1	淤泥质粘土	20	7.4	7.4	0.7	279.0	195.3
④2	粘土	40	1.8	1.8	0.7	135.7	95.0
④31	圆砾	72	1.6	1.6	0.6	217.1	130.3
④32	卵石	90	4.8	4.8	0.6	814.3	488.6
⑤2	粉质粘土	36	2.9	2.9	0.7	196.8	137.8
⑥2	粉质粘土	40	6.2	6.2	0.7	467.5	327.2
⑥3	卵石	90	0.8	0.8	0.6	135.7	81.4
⑩2	强风化	100	2.7	5.6	0.7	508.9	356.3
⑩3	中风化	220		未揭穿	0.9	0.0	0.0
试桩单桩抗拔承载力标准值 (kN)			2753.9				
试桩单桩抗压承载力标准值 (kN)			5344.3				
工程桩单桩抗拔承载力设计值 (kN)			1336.6				
工程桩单桩抗压承载力设计值 (kN)			2614.5				

优化后采用等芯劲性复合桩 ZH2，内芯：PHC500 AB 100 管桩，外芯采用Φ800 水泥土搅拌桩，工程桩桩长 L=36.0m，单桩抗压承载力设计值 2300kN，试桩桩长 L=39.0m，单桩抗拔承载力标准值 1100kN。承载力验算如表 4-4 所示：

表 4-4 劲性复合桩 ZH2 单桩承载力计算表

内芯				外芯				内芯端阻力特征值 (kPa)		内芯总端阻力 (kN)		孔号:			
桩径 (mm)		500		扩底桩径 (mm)		700		500		98.2		124			
周长 (m)		1.5708		周长 (m)		2.1991		外芯端阻力标准值 (kPa)		提高系数	试桩桩长	工程桩桩长			
桩端面积 (m <sup>2</sup> )		0.1963		桩端面积 (m <sup>2</sup> )		0.3848		120		1.98	39.0	36.0			
编号	土层	侧阻力特征值 (kPa)	土层实际厚度 (m)	桩在土层厚度 (m)	抗拔系数	水泥土抗压强度 (kPa)	粘结强度系数	侧阻提高系数	检测抗拔承载力 (kN)		检测抗压承载力 (kN)				
									内芯	外芯	内芯	外芯			
②	粘土	22	1.8	1.8	0.7	1200	0.06	1.5	142.50	91.44	62.2	62.2			
④	中砂夹淤泥	36	0.6	0.6	0.7	1200	0.06	1.5	47.50	49.88	33.9	33.9			
④	中砂夹淤泥	36	12.8	12.8	0.7	1200	0.06	1.5	1013.35	1064.02	1447.6	1520.0			
⑤	淤泥	16	12	12	0.7	800	0.06	1.3	633.35	384.23	904.8	548.9			
⑩1	淤泥质粘土	20	7.4	7.4	0.7	800	0.06	1.3	390.56	296.18	557.9	423.1			
⑩2	粘土	40	1.8	1.8	0.7	1200	0.06	1.5	142.50	166.25	203.6	237.5			
⑩31	圆砾	72	1.6	1.6	0.6	1800	0.06	1.7	162.86	258.40	271.4	430.7			
⑩32	卵石	90	4.8	0.4	0.6	1800	0.06	1.7	40.72	80.75	67.9	134.6			
⑩2	粉质粘土	36	2.9	0	0.7	1200	0.06	1.5	0.00	0.00	0.0	0.0			
工程桩抗拔承载力设计值 (内芯)				1192				工程桩抗压承载力设计值 (内芯)				3551			
工程桩抗拔承载力设计值 (外芯)				1125				工程桩抗压承载力设计值 (外芯)				3386			
试桩抗拔承载力标准值 (内芯)				2383				试桩抗压承载力标准值 (内芯)				7103			
试桩抗拔承载力标准值 (外芯)				2250				试桩抗压承载力标准值 (外芯)				6965			

根据国家标准建设图集《预应力混凝土管桩》(10G409)，PHC 500 AB 100 管桩，C80 混凝土强度等级，桩身抗压强度设计值  $3158\text{kN} > 1.35 \times 2300 = 3150\text{kN}$ ，桩身轴心受拉承载力设计值  $842\text{kN} > 1.35 \times 500 = 675\text{kN}$ ，满足要求。

2、原灌注桩 BZ2：原设计采用Φ 700 钻孔灌注桩，桩长约 56.0m，持力层为 10.3 中风化基岩，单桩抗压承载力特征值 3000kN，抗拔承载力特征值 500kN；试桩桩长约 59.0m，抗拔承载力极限值 1100kN，承载力验算如表 4-5：

表 4-5 原灌注桩 BZ2 单桩承载力计算表

普遍桩径 (mm)		桩周长(m)	截面积 (m <sup>2</sup> )	试桩桩长L	工程桩桩长l	孔号	Z24
700		2.20	0.38465	56.0	53.0	端阻力标准值q <sub>p</sub> (kPa)	4400
土层序号	土层名称	侧摩阻力标准值q <sub>s</sub> (kPa)	桩在土层长度 (m)	土层实际厚度 (m)	抗拔系数λ	抗压侧阻力 (kN)	抗拔侧阻力 (kN)
①2	粘土	22	1.8	1.8	0.7	87.1	61.0
②4	中砂夹淤泥	36	0.6	0.6	0.7	47.5	33.3
②4	中砂夹淤泥	36	12.8	12.8	0.7	1013.4	709.3
②5	淤泥	16	12	12	0.7	422.2	295.6
③1	淤泥质粘土	20	7.4	7.4	0.7	325.5	227.8
④2	粘土	40	1.8	1.8	0.7	158.3	110.8
④31	圆砾	72	1.6	1.6	0.6	253.3	152.0
④32	卵石	90	4.8	4.8	0.6	950.0	570.0
⑤2	粉质粘土	36	2.9	2.9	0.7	229.6	160.7
⑥2	粉质粘土	40	6.2	6.2	0.7	545.4	381.8
⑥3	卵石	90	0.8	0.8	0.6	158.3	95.0
⑩2	强风化	100	2.7	5.6	0.7	593.8	415.6
⑩3	中风化	220	0	未揭穿	0.9	0.0	0.0
试桩单桩抗拔承载力标准值 (kN)			3212.9				
试桩单桩抗压承载力标准值 (kN)							
工程桩单桩抗拔承载力设计值 (kN)			1559.3				
工程桩单桩抗压承载力设计值 (kN)			3171.1				

优化后采用等芯劲性复合桩 ZH3，内芯：PHC500 AB 100 管桩，外芯采用Φ800 水泥土搅拌桩，工程桩桩长  $L=36.0\text{m}$ ，单桩抗压承载力设计值  $3000\text{kN}$ ，试桩桩长  $L=39.0\text{m}$ ，单桩抗拔承载力标准值  $1100\text{kN}$ 。承载力验算如表 4-4 所示：

表 4-6 劲性复合桩 ZH3 单桩承载力计算表

内芯			外芯				内芯端阻力特征值 (kPa)	内芯总端阻力 (kN)		孔号：		
桩径 (mm)	500		扩底桩径 (mm)	700			500	98.2		Z24		
周长 (m)	1.5708		周长 (m)	2.1991			外芯端阻力标准值 (kPa)	提高系数	试桩桩长	工程桩桩长		
桩端面积 (m <sup>2</sup> )	0.1963		桩端面积 (m <sup>2</sup> )	0.3848			120	1.98	39.0	36.0		
编号	土层	侧阻力特征值 (kPa)	土层实际厚度 (m)	桩在土层厚度 (m)	抗拔系数	混凝土抗压强度 (kPa)	粘结强度系数	侧阻提高系数	桩侧抗拔承载力 (kN)		桩侧抗压承载力 (kN)	
									内芯	外芯	内芯	外芯
②	粘土	22	1.8	1.8	0.7	1200	0.06	1.5	142.50	91.44	62.2	62.2
④	中砂夹淤泥	36	0.6	0.6	0.7	1200	0.06	1.5	47.50	49.88	33.9	33.9
④	中砂夹淤泥	36	12.8	12.8	0.7	1200	0.06	1.5	1013.35	1064.02	1447.6	1520.0
⑤	淤泥	16	12	12	0.7	800	0.06	1.3	633.35	384.23	904.8	548.9
①	淤泥质粘土	20	7.4	7.4	0.7	800	0.06	1.3	390.56	296.18	557.9	423.1
②	粘土	40	1.8	1.8	0.7	1200	0.06	1.5	142.50	166.25	203.6	237.5
③1	圆砾	72	1.6	1.6	0.6	1800	0.06	1.7	162.86	258.40	271.4	430.7
③2	卵石	90	4.8	0.4	0.6	1800	0.06	1.7	40.72	80.75	67.9	134.6
⑤2	粉质粘土	36	2.9	0	0.7	1200	0.06	1.5	0.00	0.00	0.0	0.0
工程桩抗拔承载力设计值 (内芯)			1192			工程桩抗压承载力设计值 (内芯)			3551			
工程桩抗拔承载力设计值 (外芯)			1125			工程桩抗压承载力设计值 (外芯)			3386			
试桩抗拔承载力标准值 (内芯)			2383			试桩抗压承载力标准值 (内芯)						
试桩抗拔承载力标准值 (外芯)			2250			试桩抗压承载力标准值 (外芯)						

根据国家标准建设图集《预应力混凝土管桩》(10G409)，PHC 500 AB 100 管桩，C80 混凝土强度等级，桩身抗压强度设计值  $4105\text{kN} > 1.35 \times 3000 = 4050\text{kN}$ ，桩身轴心受拉承载力设计值  $842\text{kN} > 1.35 \times 500 = 675\text{kN}$ ，满足要求。



### 4.3 经济性对比

表 4-7 劲性复合桩与原灌注桩经济性对比

序号	项目名称	单位	工程量	单价 (元)	合价 (元)	桩数
一	劲性复合桩 ZH1(内芯: PHC600-AB-110, 外芯: 800 搅拌桩) 桩长 L=36.0m, 单桩抗压承载力设计值 3750kN				15227.65	502
1	PHC600-AB-110 材料费 (C105)	m	36.00	210.00	7560.00	
2	接头	个	2.00	400.00	800.00	
3	劲性植桩费	m	36.00	30.00	1080.00	
4	Φ 800 水泥土旋喷搅拌桩	m <sup>3</sup>	18.09	320.00	5787.65	
二	劲性复合桩 ZH2(内芯: PHC500-AB-100, 外芯: 700 搅拌桩) 桩长 L=36.0m, 单桩抗压承载力设计值 2300kN, 抗拔承载力设计值 500kN				11711.17	275
1	PHC500-AB-100 材料费 (C80)	m	36.00	150.00	5400.00	
2	接头	个	2.00	400.00	800.00	
3	劲性植桩费	m	36.00	30.00	1080.00	
4	Φ 700 水泥土旋喷搅拌桩	m <sup>3</sup>	13.85	320.00	4431.17	
三	劲性复合桩 ZH3(内芯: PHC600-AB-130, 外芯: 800 搅拌桩) 桩长 L=41.0m, 单桩承载力设计值 4600kN				12431.17	110
1	PHC500-AB-100 材料费 (C105)	m	36.00	170.00	6120.00	
2	接头	个	2.00	400.00	800.00	
3	劲性植桩费	m	36.00	30.00	1080.00	
4	Φ 700 水泥土旋喷搅拌桩	m <sup>3</sup>	13.85	320.00	4431.17	
四	YZ1: 原Φ 700 灌注桩, 桩长 L=56.0m, 单桩抗压承载力特征值 3750kN				18632.45	502
1	钻孔灌注桩成孔费	m <sup>3</sup>	21.54	320.00	6892.93	
2	C35 混凝土	m <sup>3</sup>	23.69	350.00	8293.05	
3	钢筋笼制作及加工	t	1.08	3200.00	3446.46	
五	BZ1: 原Φ 600 灌注桩, 桩长 L=53.0m, 单桩抗压承载力特征值 2300kN, 抗拔承载力 500kN				16204.32	275
1	钻孔灌注桩成孔费	m <sup>3</sup>	20.39	320.00	6523.66	
2	C35 混凝土	m <sup>3</sup>	16.48	350.00	5766.45	
3	钢筋笼制作及加工	t	1.22	3200.00	3914.20	
六	BZ2: 原Φ 700 灌注桩, 桩长 L=53.0m, 单桩抗压承载力特征值 3000kN, 抗拔承载力 500kN				18286.65	110
1	钻孔灌注桩成孔费	m <sup>3</sup>	20.39	320.00	6523.66	
2	C35 混凝土	m <sup>3</sup>	22.43	350.00	7848.78	
3	钢筋笼制作及加工	t	1.22	3200.00	3914.20	
七	节约总成本:				22.68%	

注: 以上报价仅为设计概算, 不能作为最终商务报价。

## 五、工程案例

### 5.1 禹洲·南京 NO.2014G55 地块住宅项目

禹洲·南京 NO.2014G55 地块住宅项目位于江苏省南京市雨花台区，包含 8 栋 27-33F 高层住宅，设满堂一层地下室，基础型式为桩基础。

该工程所在场区为典型河西地区地质，②层软塑状淤泥质土厚 25-30m。

原设计采用 $\phi$  650 钻孔灌注桩，桩长 L=50.0m，桩端持力层为中风化岩，单桩竖向抗压承载力特征值为 2600kN。

考虑到传统灌注桩的各项缺点（见前述第三章），我司将 $\phi$  650 灌注桩优化为劲性复合桩。优化后劲性复合桩内芯为 PHC-600-AB-110 预应力管桩，外芯为 $\phi$  900 水泥土搅拌桩（水泥掺量 15%），内、外芯桩长均为 40.0m（穿透淤泥质土进入砂层），计算单桩抗压承载力特征值 2900kN，优化后桩基综合造价节约 18%。

2015 年 5 月 10 日进行 3 根劲性复合桩试桩，试桩桩长 L=45.0m（即按照计算桩长 40.0m+桩顶至地面 5.0m），养护期 28d，采用慢速荷载维持法进行了单桩抗压承载力静载试验，试验结果见图 5-1、图 5-2、图 5-3。

表 6 试 4#（抗压）单桩竖向静载试验汇总表

序号	荷载 (kN)	历时 (min)		沉降 (mm)	
		本级	累计	本级	累计
0	0	0	0	0.00	0.00
1	1240	120	120	1.92	1.92
2	1860	120	240	1.81	3.73
3	2480	120	360	1.26	4.99
4	3100	120	480	2.77	7.76
5	3720	120	600	1.76	9.52
6	4340	120	720	1.84	11.36
7	4960	120	840	3.69	15.05
8	5580	120	960	4.61	19.66
9	6200	120	1080	5.07	24.73
10	6820	120	1200	12.90	37.63
11	7440	15	1215	50.26	87.89
最大沉降量: 87.89 mm		最大回弹量: 0.00 mm		回弹率: 0.0%	

图 5-1 试桩结果汇总表（一）

表 7 试 5# (抗压) 单桩竖向静载试验汇总表

序号	荷载 (kN)	历时 (min)		沉降 (mm)	
		本级	累计	本级	累计
0	0	0	0	0.00	0.00
1	1240	120	120	1.31	1.31
2	1860	120	240	1.43	2.74
3	2480	120	360	1.06	3.80
4	3100	120	480	1.63	5.43
5	3720	120	600	2.18	7.61
6	4340	120	720	2.46	10.07
7	4960	120	840	3.22	13.29
8	5580	120	960	2.85	16.14
9	6200	120	1080	4.38	20.52
10	6820	120	1200	10.71	31.23
11	7440	15	1215	58.48	89.71
最大沉降量: 89.71 mm		最大回弹量: 0.00 mm		回弹率: 0.0%	

图 5-2 试桩结果汇总表 (二)

表 8 试 6# (抗压) 单桩竖向静载试验汇总表

序号	荷载 (kN)	历时 (min)		沉降 (mm)	
		本级	累计	本级	累计
0	0	0	0	0.00	0.00
1	1240	120	120	1.12	1.12
2	1860	120	240	0.98	2.10
3	2480	120	360	1.36	3.46
4	3100	120	480	1.79	5.25
5	3720	120	600	2.56	7.81
6	4340	120	720	2.17	9.98
7	4960	120	840	2.65	12.63
8	5580	120	960	1.25	13.88
9	6200	120	1080	1.95	15.83
最大沉降量: 15.83 mm		最大回弹量: 0.00 mm		回弹率: 0.0%	

图 5-3 试桩结果汇总表 (三)

通过试验结果可看出, 优化后的植桩实际承载力与计算值较接近, 基于内芯桩身强度控制其极限承载力, 抗压承载力特征值取值为 3100kN, 较 $\phi$  650 灌注桩单桩竖向抗压承载力提升 20%, 且桩基综合造价节约 18%。

## 5.2 丛化富景美居桩基项目

该项目位于广州市从化区,包含 3 栋 23 层的商住楼及 1~4 层的商业裙楼,地下室 2 层,基坑开挖约 17 米,采用桩基础。

地质从上至下以此为粘性土、砾砂、砂质粘性土、强风化岩及中风化岩。原抗压桩设计为 $\phi$  800 扩底灌注桩,桩长  $L=20.0\text{m}$ ,桩端持力层为中风化花岗岩,单桩抗压承载力特征值为 3500kN。

考虑到传统灌注桩的各项缺点(见前述第三章),我司将 $\phi$  800 灌注桩优化为劲性复合桩。优化后植桩内芯为 PHC-600-AB-130 预应力管桩,外芯为 $\phi$  850 水泥土搅拌桩(水泥掺量 15%),内、外芯桩长均为 17.0m,计算单桩抗压承载力特征值为 3500kN,优化后桩基综合造价节约 22%。

2015 年 8 月 20-23 日进行 3 根植桩试桩,试桩桩长  $L=32.0\text{m}$ (即按照计算桩长 17.0m+桩顶至地面 15.0m),养护期 28d,采用慢速荷载维持法进行了单桩抗压承载力静载试验,试验结果见图 5-4、图 5-5、图 5-6。

**单桩竖向静载试验汇总表**

工程名称: 住宅楼工程 3 幢 (自编 A1-A3) 商业裙楼 1 幢  
测试日期: 2015-08-23  
桩长: 34.00mm  
试验桩号: 4#  
桩径: 850mm

序号	荷载 (kN)	历时 (min)		沉降 (mm)	
		本级	累计	本级	累计
0	0	0	0	0.00	0.00
1	1960	120	120	3.04	3.04
2	2940	120	240	1.73	4.77
3	3920	150	390	2.59	7.36
4	4900	150	540	2.57	9.93
5	5880	210	750	2.84	12.77
6	6860	180	930	2.92	15.69
7	7840	150	1080	3.10	18.79
8	8820	240	1320	3.81	22.60
9	9800	240	1560	2.89	25.49
10	7840	60	1620	-0.99	24.50
11	5880	60	1680	-1.90	22.60
12	3920	60	1740	-4.16	18.44
13	1960	60	1800	-4.12	14.32
14	0	180	1980	-7.75	6.57

最大沉降量: 25.49 mm      最大回弹量: 18.92 mm      回弹率: 74.2%

图 5-4 试桩结果汇总表 (四)

### 单桩竖向静载试验汇总表

工程名称: 住宅楼工程 3 幢 (自编 A1-A3) 商业裙楼 1 幢  
测试日期: 2015-08-21

桩长: 30.00mm

试验桩号: 5#  
桩径: 850mm

序号	荷载 (kN)	历时 (min)		沉降 (mm)	
		本级	累计	本级	累计
0	0	0	0	0.00	0.00
1	1960	120	120	3.56	3.56
2	2940	150	270	1.29	4.85
3	3920	120	390	1.42	6.27
4	4900	120	510	1.80	8.07
5	5880	150	660	1.86	9.93
6	6860	120	780	1.91	11.84
7	7840	120	900	2.14	13.98
8	8820	180	1080	2.31	16.29
9	9800	150	1230	2.81	19.10
10	7840	60	1290	-0.79	18.31
11	5880	60	1350	-1.64	16.67
12	3920	60	1410	-2.34	14.33
13	1960	60	1470	-3.16	11.17
14	0	180	1650	-4.81	6.36
最大沉降量: 19.10 mm		最大回弹量: 12.74 mm		回弹率: 66.7%	

图 5-5 试桩结果汇总表 (五)

### 单桩竖向静载试验汇总表

工程名称: 住宅楼工程 3 幢 (自编 A1-A3) 商业裙楼 1 幢  
测试日期: 2015-08-20

桩长: 32.00m

试验桩号: 6#  
桩径: 850mm

序号	荷载 (kN)	历时 (min)		沉降 (mm)	
		本级	累计	本级	累计
0	0	0	0	0.00	0.00
1	1960	120	120	1.64	1.64
2	2940	120	240	1.50	3.14
3	3920	120	360	1.71	4.85
4	4900	120	480	1.73	6.58
5	5880	120	600	1.72	8.30
6	6860	120	720	1.57	9.87
7	7840	120	840	2.19	12.06
8	8820	120	960	2.59	14.65
9	9800	150	1110	2.83	17.48
10	7840	60	1170	-0.97	16.51
11	5880	60	1230	-1.53	14.98
12	3920	60	1290	-1.67	13.31
13	1960	60	1350	-3.45	9.86
14	0	180	1530	-4.67	5.19
最大沉降量: 17.48 mm		最大回弹量: 12.29 mm		回弹率: 70.3%	

图 5-6 试桩结果汇总表 (六)

通过试验结果可看出, 优化后的植桩实际承载力与计算值较接近, 基于内芯桩身强度控制其极限承载力, 除去地下室部分桩身侧阻力后, 抗压承载力特征值取值为 3500kN, 桩基

综合造价节约 22%。

### 5.3 上海新江湾城 02-1 地块商品住宅项目

海新江湾城 02-1 地块商品住宅项目位于上海市杨浦区，包含 4 幢 18F 高层住宅、1 幢 4F 多层住宅及 2b 地下车库，基础型式为桩基础。

该工程所在场区低层为典型上海软土低层，③层流塑状淤泥质粉质粘土平均厚度约 2.4m，④层流塑状淤泥质粘土平均厚度约 7.7m。

原桩基设计采用 $\phi$  600/700 钻孔灌注桩，其中住宅楼抗压桩桩径 $\phi$  600，桩长 43m、46m、48m，桩端持力层为③1 层粉质粘土，单桩竖向抗压承载力设计值分别为 1500kN、1900kN、1900kN；地库抗拔桩一为 $\phi$  600，桩长 43m，地库抗拔桩二为 $\phi$  700，桩长 48.0m，抗拔承载力设计值分别为 1250kN、1450kN。

考虑灌注桩易产生塌孔、缩颈，桩底沉渣难以清除，桩身质量难以控制，且存在泥浆排放、噪声污染等环境问题。另由于建设单位对工期、环境保护、桩基造价等有特殊要求，我司将原设计灌注桩优化为 $\phi$  500-700 劲性复合桩。其中住宅楼抗压桩（劲性复合桩）内芯 T-PHC-B-500-460（100）预应力竹节桩，外芯 $\phi$  700 水泥土搅拌桩（水泥掺量 15%），内、外芯桩长均为 34.0m，计算单桩抗压承载力设计值 2100kN（大于原灌注桩 1900kN）；地库抗拔桩（劲性复合桩）内芯 T-PHC-D-500-460（110/130）预应力竹节桩，外芯 $\phi$  700 水泥土搅拌桩（水泥掺量 15%），内、外芯桩长均为 36.0m，计算单桩抗拔承载力设计值 1450kN（等于原灌注桩 1450kN）。优化劲性复合桩，较原设计灌注桩方案桩基造价总体节约 22%，且工程桩施工工期节省了 30%以上。

2016 年 1 月 21-25 日进行 2 根劲性复合桩静载检测，试桩桩长  $L=43.0m$ （即按照计算桩长 34.0m+桩顶至地面 9.0m），养护期 28d，采用慢速荷载维持法进行了单桩抗压承载力静载试验（非破坏性试验），试验结果见图 5-7、5-8。

受百旌（上海）控股集团有限公司的委托，依据上海市工程建设规范《建筑基桩检测技术规程》（DGJ 08—218—2003），我公司于 2016 年 1 月 21 日至 2016 年 1 月 22 日对金浩园商品住宅项目-3 号房的一组竹节桩试桩进行单桩竖向抗压静载荷试验。为配合施工，现将试验结果提供如下：

桩号	桩型 (mm)	试桩桩长 (m)	最大加载量 (kN)	累计沉降量 (mm)	残余沉降量 (mm)	极限承载力
3-Z300 <sup>#</sup>	Φ700	43	3900	23.85	10.84	≥3900kN

图 5-7 新江湾城 02-1 地块试桩检测结果（一）

受百旌（上海）控股集团有限公司的委托，依据上海市工程建设规范《建筑基桩检测技术规程》（DGJ 08—218—2003），我公司于 2016 年 1 月 21 日至 2016 年 1 月 22 日对金浩园商品住宅项目-3 号房的一组竹节桩试桩进行单桩竖向抗压静载荷试验。为配合施工，现将试验结果提供如下：

桩号	桩型 (mm)	试桩桩长 (m)	最大加载量 (kN)	累计沉降量 (mm)	残余沉降量 (mm)	极限承载力
3-Z300 <sup>#</sup>	Φ700	43	3900	23.85	10.84	≥3900kN

图 5-8 新江湾城 02-1 地块试桩检测结果（二）