

# 建筑物增层改造基础加固中 锚杆静压桩穿越砂层技术方案比选

薛化雨<sup>1</sup>, 丁小龙<sup>2</sup>

(1. 温州市房屋安全鉴定所, 浙江 温州 325000; 2. 浙江省岩土基础公司, 浙江 宁波 315040)

**摘要:**在杭州天工艺苑增层改造基础加固中,采用锚杆静压桩,由于浅部有厚达 8~12 m 的砂质粉土层,无法直接压入钢筋混凝土管桩,通过试桩,比选出可行的技术方案。介绍了各种技术方案的试桩情况,分析了成败原因。

**关键词:**增层改造;基础加固;锚杆静压桩;砂层

**中图分类号:**P473.1<sup>+</sup>3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)07-0033-03

## 1 工程概况

杭州天工艺苑为地下 1 层、地上 5 层板-柱结构体系建筑,建筑面积 17600 m<sup>2</sup>,柱网尺寸 9 m×9 m,采用夯扩桩基础(有效桩长约 8 m),采用浅部持力层②<sub>b</sub>层。该建筑物地处杭州市中心,地价房价都贵,业主决定在原结构上增加 7 层钢结构,增层后

建筑总高度为 49.9 m,总建筑面积达 42000 m<sup>2</sup>。增层后基础荷载增加近 90%,原有桩基承载力明显不足。该项目设计单位综合考虑各种因素,决定在地下室新增预应力管桩,采用锚杆静压桩工艺施工,控制最终压桩力≥1200 kN,桩尖进入⑦<sub>b</sub>层。工程地质概况见表 1。

表 1 工程地质概况表

层序	土层名称	层顶标高 /m	岩土特征	土工指标					层厚 /m	承载力参数			
				w /%	I <sub>p</sub>	I <sub>L</sub>	e	a <sub>1-2</sub> /MPa <sup>-1</sup>		预制桩		灌注桩	
										q <sub>p</sub> /kPa	q <sub>s</sub> /kPa	q <sub>p</sub> /kPa	q <sub>s</sub> /kPa
①	杂填土	9.09~8.60	松散						1.2~4.9		10		
② <sub>a</sub>	砂质粉土	7.62~4.03	中密,饱和	26.41			0.74	0.10	7.6~11.2	1500、 2500	30		20
② <sub>b</sub>	粉砂	3.16~5.38	中密,饱和	22.50			0.63	0.13	3.4~6.5	2800	40		28
③	淤泥质粘土	-8.78~-10.40	流塑,饱和	47.20	18.40	1.07	1.30	0.65	0~7.5				8
④	粉质粘土	-8.16~-17.40	可塑,饱和	29.04	10.58	0.51	0.80	0.22	0~10.5				15
⑤	灰色粘质粉土	-18.58~-18.66	稍密,饱和	42.95	18.80	0.87	1.147	0.42	0~9.0				10
⑥ <sub>a</sub>	粘土	-18.07~-18.18	硬可塑,饱和	24.60	12.80	0.14	0.723	0.17	0~2.8				30
⑥ <sub>b</sub>	粉质粘土	-20.07~-20.98	可塑,饱和	32.50	14.80	0.40	0.88	0.25	0~3.4				20
⑦ <sub>a</sub>	灰色粘质粉土	-21.10~-27.66	稍密,饱和	25.90	10.18	0.43	0.70	0.22	4.1~10.01				20
⑦ <sub>b</sub>	粘质粉土夹粉砂	-30.87~-33.38	稍密,饱和	22.90			0.659	0.12	0~5.7				20
⑦ <sub>c</sub>	砾砂	-34.06	中密,饱和						0~4.9				35
⑧ <sub>a</sub>	卵石	-32.90~-38.95	中密						0~4.6			3500	30
⑧ <sub>b</sub>	砾石	-38.91~-43.56	中密~密实, 饱和						0~16.4			3500	40
⑧ <sub>c</sub>	卵砾混粉质粘土	-37.86~-40.55	中密									3000	40

该工程需在净空约 4 m 的地下室内静压钢筋混凝土预应力管桩,管桩直径 400 mm,壁厚 95 mm,分段长 2 m,单根桩长约 40 m。

## 2 施工难点

由于浅部有厚达 8~12 m 的砂质粉土层,无法直接压入钢筋混凝土管桩(强压会造成桩身压碎),基础加固遭遇的困难超出了参建方的预期,第一次

收稿日期:2006-12-27; 改回日期:2007-06-15

**作者简介:**薛化雨(1966-),男(汉族),浙江温州人,温州市房屋安全鉴定所所长、工程师,工民建专业,从事房屋安全鉴定、加固与管理工  
作,浙江省温州市环城路绿景大厦 B 幢 3 楼,(0577)88277000、13858859589,xhywz@126.com;丁小龙(1976-),男(汉族),浙江丽水人,浙江省  
岩土基础公司工程师,水利水电建筑工程专业,从事预算工作,浙江省宁波市宁穿路 448 弄 16 号,(0574)87800919、13656578038,xlong.d@  
163.com。

业主选中的单位曾为此停工数月。为解决这一压桩难题,业主在浙江、上海等地精心挑选了 4 家很有实力的施工单位,通过现场比武择优选择施工单位,在现场比武中每个施工单位各试压 2 根桩,通过试压突破了钢筋混凝土管桩静压穿越砂层的技术难题。

### 3 试压桩方案实施情况

#### 3.1 不成功的方案

##### 3.1.1 方案 1——预钻孔压桩

该方案采用地质钻机在桩位处采用钻孔桩工艺,预钻  $\varnothing 400$  mm 左右的引孔穿越砂层,然后将桩放入进行压桩。这种工艺第一节(节长 2 m)端阻和摩阻小于桩身自重,但压第二节、第三节桩时均告失败。分析原因有 2 点:一是钻孔结束后,孔内粉砂很快按重度大小分级沉淀,一旦沉淀形成,超孔隙水压力沿砂层很快消失,粉细砂便很快恢复强度,像“铁板”一块,常规静压管桩工艺就告失败;二是本层原为夯扩桩持力层,因而存在上部结构的附加应力,引孔造成应力集中,加剧了孔壁坍塌;同时钻孔垂直度与插桩垂直度极难吻合,桩对孔壁碰撞以及对孔壁的刮擦均会造成孔壁坍塌,一旦坍塌,引孔作用消失,压桩必然失败。

##### 3.1.2 方案 2——标准开口桩尖辅以管内冲水

该方案采用浙江省结构标准图集 99 浙 G22a 型开口桩尖(见图 1),在静压桩时辅以管内冲水。此工艺静压 2~3 m 后,即使压桩力  $> 1800$  kN,甚至桩被压碎,管内无论如何冲水,桩都静止不动。

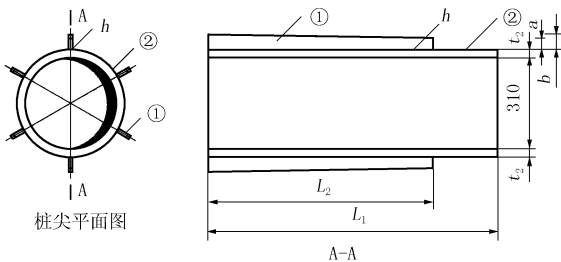


图 1 浙 G22a 型开口桩尖

该方案失败的原因是:冲水只能消除桩尖  $\varnothing 310$  mm 范围内的端阻力,这部分端阻力约占总端阻力的 60%,仍有 40%的端阻力,无论在管内如何冲水都无法消除,因此此工艺宣告失败。

采用这种工艺,施工单位为了穿越砂层,在管内管外一起冲水,桩周土被冲空,形成环状间隙,最终管桩虽然穿越了砂层,但这种工艺一则容易造成桩身倾斜,二则桩周底板处于悬空状态,对底板结构极为不利,最后被淘汰。

##### 3.1.3 方案 3——特制锥形桩尖辅以管内冲水

考虑到压桩过程中端部土体被不断压密,端阻会增加,设计了一种锥形钢桩尖,使桩在压入过程中,桩尖土以侧向挤密为主,尽可能减少端部的挤密效应,从而降低压桩阻力。本次项目试桩设计的桩尖锥度为  $14^\circ$ (详见图 2)。压桩过程中辅以管内冲水。这种工艺比标准开口桩尖略微好些,但最终也归于失败。

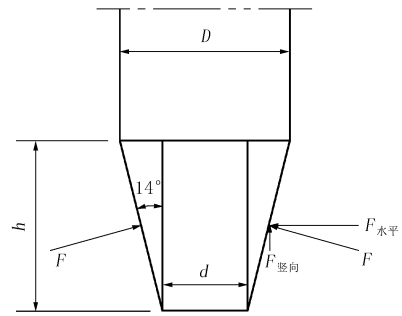


图 2 自制锥度  $14^\circ$  桩尖

从图 2 中可知,垂直于桩尖侧表面的阻力:

$$F = \text{侧表面面积} \times q_p \text{ (勘察报告中提供)}$$

$$= \left\{ \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right\} / \sin 14^\circ \times q_p$$

该阻力的竖向分力:

$$F_{\text{竖向}} = F \sin 14^\circ$$

$$= \left\{ \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right\} / \sin 14^\circ \times q_p \sin 14^\circ$$

$$= \left[ \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right] q_p$$

该阻力的水平分力:

$$F_{\text{水平}} = F \cos 14^\circ$$

$$= \left\{ \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right\} / \sin 14^\circ \times q_p \cos 14^\circ$$

$$= \left[ \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \right] q_p \operatorname{ctg} 14^\circ$$

式中:  $F_{\text{竖向}}$ ——压桩时必须克服的端阻力;  $F_{\text{水平}}$ ——压桩时水平方向对土的挤压力。

从以上计算式可以看出,方案 2、方案 3 压桩时需克服的端阻力是相同的,但实际上方案 3 对端部竖直方向土挤密效果差些,因而压桩端阻力相对方案 2 要小些。

### 3.2 成功的方案

#### 3.2.1 方案 1——大功率设备冲振压桩

在砂层中静压钢筋混凝土管桩,减少端阻力的有效办法之一是使管桩端部砂层液化。基于这一原理,本工程施工单位对通用的锚杆静压桩设备进行改进,该方案为采用行程 40 cm 的液压千斤顶配备功率达 50 kW 的高压泵站,供油快捷,千斤顶动作快捷,压桩速度是常规静压设备的 10 倍左右,当压桩阻力达 1500 kN 时,通过调节油阀,在限定压力

下反复冲压,借助桩的回弹,使桩上下窜动从而使桩端砂层液化,端阻力很快降到 500 kN 左右,从而实现顺利压桩。该方案的优点是压桩快捷,作业人员少,效率高,施工场地干净;不足是桩端压碎出现次数较多,且容易产生挤土效应。

### 3.2.2 方案 2——湿搅隐性引孔 + 管内冲水消塞

采用地质钻机带特制搅拌头( $\varnothing 350$  mm),边回转钻进边加入适量粘土浆,直至穿越障碍土层(②层),通过直接破坏被搅动土体密实度,增大其含水量、孔隙比、粘粒含量,大幅度降低端阻力。在压桩过程中辅以管内冲水措施,消除土塞,从而实现在压桩力 $\geq 1500$  kN 的情况下穿越砂层。

此工艺不存在常规意义上的钻孔,所以不存在孔壁坍塌和细砂分级沉淀问题,所以此工艺获得了成功。

此方案由于湿搅隐性引孔与压桩可平行作业,压桩时管内冲水较少,因而压桩速度会快些,但工艺相对较繁琐,投入设备较多,成本较高。

### 3.2.3 方案 3——钢管桩尖 + 管内冲水消塞

实践经验表明,压桩阻力主要来自桩端,如何降低端阻力成为考虑方案的切入点,于是改变桩尖形式,通过降低接触面积减小端阻力的方案——钢筒桩尖 + 管内冲水消塞的方案,设计采用的钢筒桩尖,直径 377 mm,壁厚 10 mm,长度 500 mm,冲水深度距桩尖底 30 cm,这样既可消除土塞又不致扰动桩底部及桩外土体。通过对桩垫的设计,可以实现连续冲水压桩。该方案的优点是管内土被冲出,压桩过程中几乎不存在挤土效应;不足是几乎障碍层全过程冲水,地面粉砂堆积,地面清理量大,压桩效率不高。

## 4 施工体会

静压桩穿越砂层时,压桩阻力远大于 2 倍桩的承载力。当采用大功率设备冲振压桩方案时,一旦桩端砂层处于液化状态时压桩力只有 500 kN,这说明压桩时摩阻力肯定小于 500 kN,这与摩阻力的理论计算值是基本相符的。

当采用钢管桩尖 + 管内冲水方案时,在无土塞的情况下,桩尖底面积只有钢管面积的 20.6%,按理论计算,②层土端阻标准值只有 73 kN,但压桩时压桩力约 1200 kN,端阻力应有 700 kN 以上,对于本工程来说,此值是标准端阻力值的 10 倍。

当采用开口标准桩尖 + 管内冲水方案时,在无土塞的情况下,桩尖底面积占管桩底面积的 40%,按理论计算,②层土端阻标准值只有 140 kN,但实际压桩时,在无土塞的情况下,压桩力达 1800 kN(再加压桩随时可能被压碎),桩也静止不动,这说明端阻力应有 1300 kN 以上,预计此值也是理论计算标准端阻力值的 10 倍以上。

分析原因主要有 2 点:一是桩基标准极限承载力指标是在慢速维持荷载下的取值,而压桩相对来说是快速克服土层阻力的过程;二是工程地质勘察报告中  $q_p$  值是原状土单位面积端阻力值,压桩时,桩端土不断被挤密, $q_p$  值也将不断提高,它是一个动态值。

大量的锚杆静压桩实践证明:压桩实际遇到的端阻力与理论计算的标准端阻力比值,随土层的不同有较大变化,因此在静压桩过程中按标准承载力的 1.5 倍作为终止压桩的条件是不科学的,笔者认为,以桩尖进入设计持力层的深度作为终止压桩的条件比较科学,而此深度完全可以从压桩时压力表读数的变化加以准确判断。