

## 高层建筑静压预应力管桩施工初探

马爱国<sup>1</sup>, 陈捷<sup>2</sup>, 霍丽芳<sup>3</sup>

(1. 浙江驰成建设有限公司, 浙江 东阳 322100; 2. 浙江省住房和城乡建设厅干部学校, 杭州 310012;  
3. 长兴县广信建设投资咨询有限公司, 浙江 长兴 313100)

**摘 要:** 对高层桩基采用静力压桩法, 依据地质状况、场地条件、最大压桩力、单桩极限承载力、入土深度、桩身强度、打桩顺序、用电量平衡、引孔压桩法等, 并结合当地经验综合施工。静载效果分析极限承载力比最终压桩力提高了 44%~79%。与钻孔灌注桩经济对比, 大吨位管桩节省造价 14%。

**关键词:** 静力压桩法; 引孔压桩法; 高层建筑; 场地条件; 最大压桩力

中图分类号: TU473.13

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2013)01-0042-05

## About static pressing prestressed pipe pile construction technology in high-rise buildings

MA Aiguo<sup>1</sup>, CHEN Jie<sup>2</sup>, HUO Lifang<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Chicheng Construction Co., Ltd., Dongyang 322100, China; 2. Zhejiang Provincial Carder School of Department of Housing and Urban-Rural Development, Hangzhou 310012, China;  
3. Changxing County Guangxin Building Investment Co., Ltd., Changxing 313100, China)

**Abstract:** The method of static pressing pile in high-rise building is related to geological condition, site condition, maximum pressing force, ultimate bearing capacity of single pile, buried depth, strength of pile, piling sequence, energy balance, method of pressing pile with pre-augering and local experience. According to the static loading test, the ultimate bearing capacity of single pile is increased by 44%—79% than the final pressing pile force. Compared to the bored pile, large tonnage prestressed pipe piles reduces investment about 14%.

**Key words:** method of static pressing pile; method of pressing pile with pre-augering; high-rise building; site condition; maximum pressing pile force

在当下建筑领域中,高层建筑采用预应力管桩静力压桩法施工者比较多,但是在 30 层以上的高层建筑中并不是很常见。在同一地质条件,相同承载力下,与钻孔灌注桩对比,预应力管桩具有环保、造价低的优点。30 层以上高层建筑采用大吨位静力压桩法施工,需要考虑地质状况、场地条件、最大压桩力、单桩极限承载力、入土深度、桩身强度、打桩顺序、用电量平衡、引孔压桩法及当地经验。本研究根据具体工程实例,探讨大吨位静力压桩法施工,并结合静载情况说明终压力与单桩极限承载力的关系。

1 工程概况

本工程总建筑面积 24 万 m<sup>2</sup>,由 8 幢高层建筑及 45 幢排屋组成。笔者主要论述其中一个施工标段,该标段由地下 2 层、地上 30 层 2 幢建筑及地下室组成。拟建建筑物西侧为已建的具有预应力管桩基础的新建多层建筑,其余三侧均为空旷场地。本工程高层桩基础采用 PHC600A(130)预应力管桩,施工方法采用高吨位静压机施工。

2 地质条件

本工程划分为 13 个层组,共 17 个工程地质层,其中④层分 3 个亚层,⑥层、⑨层各分 2 个亚层。土层描述详见表 1<sup>[1]</sup>。

表 1 土层描述  
Table 1 Soil description

地层编号	地层名称	层厚/m		地层描述
		最大	最小	
①	杂填土	3.10	0.20	上部以杂填土(建筑垃圾)为主,下部以黏性土为主,含植物根茎
②	黏土	3.80	0.50	含少量铁锰质,干强度中等,韧性中等,摇振反应无
③	淤泥质黏土	5.70	0.60	含腐植质及有机质,干强度中等,韧性中等,摇振反应无
④-1	黏土	6.90	1.00	含铁锰质结核,干强度中等,韧性中等,摇振反应无
④-2	粉质黏土	10.10	3.00	含铁锰质氧化物,干强度中等,韧性中等,摇振反应无
④a	砂质粉土	7.30	1.10	夹黏性土薄层,干强度低,韧性低,摇振反应迅速
⑤	淤泥质黏土	8.20	1.20	含少量有机质,夹粉土薄层,干强度中等,韧性中等,摇振反应无
⑥-1	黏土	3.90	0.60	夹粉土薄层,干强度高,韧性高,摇振反应无
⑥-2	砂质粉土	18.00	1.50	夹黏性土薄层,干强度低,韧性低,摇振反应迅速
⑦	黏土	11.50	2.10	干强度中等,韧性中等,摇振反应无
⑧	黏土	12.40	5.00	夹粉土薄层,干强度中等,韧性中等,摇振反应无
⑨	黏土	14.20	1.90	局部粉土含量较高,干强度中等,韧性中等,摇振反应无
⑨a	砂质粉土	8.70	1.00	局部夹黏性土,干强度低,韧性低,摇振反应迅速
⑩	粉砂	14.40	1.60	局部夹黏性土,干强度低,韧性低,摇振反应迅速
⑪	粉质黏土	14.80	0.90	夹粉土薄层,干强度中等,韧性中等,摇振反应无
⑫	粉砂	15.40	0.30	局部夹黏性土薄层,干强度低,韧性低,摇振反应迅速
⑬	粉质黏土	未揭穿		夹粉土薄层,干强度中等,韧性中等,摇振反应无

本工程以⑨号或⑨a号土层为桩端持力层。在本标段中⑥-2 土层平均厚度为 18 m,标准贯入击数 N 值为 18,属具有较大厚度的砂质粉土,是施工中最难穿越的土层,因此穿越该土层是施工成败的关键。

### 3 施工情况

#### 3.1 桩机的选用

桩机的选用根据地质条件、估算最大压桩力、单桩极限承载力、入土深度及桩身强度,并结合当地经验综合确定。本工程承载力要求设计标准值为 3 000 kN,最大极限承载力要求 2.15 倍的设计值,最大压桩力不得小于设计的单桩极限承载力标准值,桩入土深度 54~59 m,有效桩长 45~48 m,选用桩型为 PHC600A(130),估算群桩挤密最大压桩力<sup>[2]</sup>:

$$R_r = 6.25U_p \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \bar{N}_{si} l_i + 312.5\beta \cdot NA_p = 8\,697 \text{ kN}$$

桩机重量与配重之和的 90% 为最大压桩力<sup>[3]</sup>,理论上桩机选择应在 10 000 kN 及其以上。虽然现在技术已经发展到最大吨位达 12 000 kN 的桩机,但考虑当地施工机械、施工经验及场地条件等限制,本工程采用部分预钻孔 8 000 kN 的桩机施工。

#### 3.2 施工场地

选择大吨位桩机应首先考虑的是地耐力。当施工场地表土层承载力特征值小于等于 100 kPa,或勘察报告中提出静压桩施工出现陷机可能性的评估结论而其他条件适用静压桩时,应对场地进行加固处理。本工程地表土层承载力特征值为 85 kPa,在施工前及施工过程中优先处理场地,即填筑建筑垃圾,使得地面平整、压桩机基本处于不陷机状态为最佳,另外排水必须通畅;对于不适合压桩机正常运行的松软场地,本工程也做了换土处理,使场地的承压能力能满足压桩机正常运行的要求。本工程在场地处理方面的费用占到桩基工程总造价的 3%。

#### 3.3 桩身承受力

本工程使用的是抱压式液压压桩机,PHC600A(130)桩身混凝土强度等级为 C80,对应的混凝土轴心抗压  $f_c$  为 35.9,则桩身允许抱压压桩力<sup>[4]</sup>:

$$p_{j\max} \leq 0.95f_c A = 0.95 \times 35.9 \times 1\,000 \times 3.14 \times 0.3^2 = 9\,638 \text{ kN}$$

另外,依据桩身结构竖向抗压承载力设计值计算<sup>[4]</sup>:

$$R_p = \psi_c f_c A = 0.75 \times 35.9 \times 1\,000 \times 3.14 \times 0.3^2 = 7\,609 \text{ kN}$$

由于抱压式液压压桩机送桩最大压桩力不宜超过桩身允许抱压压桩力,送桩最大压桩力不宜超过 7 609 kN,不应大于 9 638 kN。实际本工程最大压桩力达到 7 200 kN,管桩压爆率为 0。

#### 3.4 引孔压桩法

减小挤压力的措施主要是采用引孔压桩法,将挤土桩变为低挤土桩。具体做法是预先用钻机在桩位处钻孔,然后将预制桩放入孔内,再用压桩机施压。引孔处理主要考虑的是成孔方式、孔径与孔深。成孔有以下 6 种方式:套管钻机、转盘式钻机、潜水钻机、冲击式钻机、回转斗钻机和螺旋钻机<sup>[5]</sup>。引孔机采用独立的施工机械,现正研制在静压机上配备引孔机<sup>[6]</sup>。本地区传统的引孔方式采用液压履带式长螺旋钻孔机,该机械现最长可以引孔达到 32 m,该方法成孔速度快,场地干净。本工程最难以穿越的是⑥-2 土层,根据地质报告结果显示,该场地土层分布均匀,⑥-2 土层厚度达到 18 m,穿透该土层需要从地面以下引孔 40 m。如采用螺旋钻机,⑥-2 土层仍旧还有 8 m 左右的厚度难以穿越。因此,本工程采用了潜水钻机的方式。该设备简单且体积小,成孔速度快,移动方便,非常适合场地狭窄、预钻孔深度深的项目。根据经验,预钻孔的孔径控制在桩径的 2/3,深度为原桩长的 2/3 幅度范围内比较适宜。根据小孔扩张理论分析预钻孔孔径比与折减系数比为  $m = \sqrt{(1 - r_i^2/r_0^2)}$  关系<sup>[7]</sup>,如表 2 所示。

本工程最初采用 260 mm 孔径预钻孔,根据表 2 利用内插法计算折减系数为 0.929,按照挤密桩最大压桩力 8 697 kN 折减计算,需要最大压桩力为 8 080 kN,本工程 8 000 kN 桩机最大压桩力为 7 200 kN,实际该桩未能穿透⑥-2 土层,属欠送超长桩,需要补桩处理。后期更改为 500 mm 孔径预钻孔,折减后压桩力为 5 244 kN,施工过程中最大压桩力与折减后压力值相差不超过 20%。

### 3.5 用电量平衡

本施工区域总共 24 万 m<sup>2</sup> 建筑面积,打桩区域建筑面积为 5.5 万 m<sup>2</sup>。整个区域共配备一台 500 kW 的变压器,施工现场其余 6 个地块共配备 10 台塔吊,正在主体施工阶段。本工程由于工期要求比较紧,采用 2 台 800 t 静压机及 3 台引孔机施工。由于本工程距离变压器房约为 300 m,布线至施工现场,电损较大,导致压桩力较大时电压不够。为解决该问题,本工程采用升压机为桩机提供高电压电源。为避开白天的用电高峰期,白天施工以引孔为主,晚上以桩机施工为主。

### 3.6 打桩线路及沉桩速度

距离高层桩基西侧 15 m 有一新建多层建筑物,考虑打桩会对建筑物影响,桩机施工优先从距离该建筑物最近处打一排封闭桩施工。施工顺序由近及远,根据试桩结果及考虑造价问题,最初没有采取引孔方法处理。在施工接近 18% 左右,开始出现沉桩困难,现场采用引孔处理。开始引孔 30 个,按照沉桩速度每天 6 根及场地需要回填等因素,造成部分桩需要 3 d 左右时间沉桩,已造成塌孔现象出现,实际出现了欠送桩。根据此情况,调整施工计划,按照每天引孔 5~6 根,12 h 内必须打完,对已完成引孔而未及时沉桩的要求 2 次复引,工程完工后未造成欠送桩。

## 4 静压效果分析

从表 3 中可以看出,单桩极限承载力比施工阶段的终压荷载提高了 44%~79%<sup>[8]</sup>。国外试验也表明,挤土桩的承载力会由于“强化效应”而提高 40%~80%,静压桩终压力与单桩极限承载力是密不可分的,承载力是在终压力的基础上,经过触变恢复和固结再发展,在桩周土未达到充分固结恢复之前的承载力,是“拟极限承载力”。从这个意义上可以说,终压力是零时刻的极限承载力,而不同时刻的拟极限承载力都将归于真实的极限承载力<sup>[9]</sup>。

表 3 工程桩静载分析

Table 3 Analysis of pile static loading test

编号	桩长/m	施工终压力 $P_u/\text{kN}$	极限荷载 $Q_u/\text{kN}$	最大沉降/ mm	承载力特征值 $f_a/\text{kN}$	$P_u/R_a$	承载力增大系数 $K=Q_u/P_u$	说明
1	53	4 000	6 450	19.41	3 000	1.33	1.61	2 次引孔
2	53	4 100	6 450	21.79	3 000	1.36	1.57	2 次引孔
3	54	3 600	6 450	18.60	3 000	1.20	1.79	未引孔,先施工
4	53	4 100	6 450	17.16	3 000	1.36	1.57	1 次引孔
5	54	4 100	6 450	18.45	3 000	1.36	1.57	1 次引孔
6	54	4 460	6 450	20.51	3 000	1.49	1.45	1 次引孔

## 5 经济效益比较

从表 4 中可以看出,采用静压预应力管桩比钻孔灌注桩降低造价 14%。同时可以看出同一地质条件

表 2 预钻孔孔径比与折减系数比

Table 2 Drilled aperture ratio and reduction ratio

$r_i/r_0$	$m$	$r_i/r_0$	$m$
0.1	0.99	0.6	0.80
0.2	0.98	0.7	0.71
0.3	0.95	0.8	0.60
0.4	0.92	0.9	0.44
0.5	0.87	1.0	0

注: $r_i$  为预钻孔半径, $r_0$  为预制桩半径, $m$  为折减系数。

下,为获得每吨承载力,钻孔灌注桩需要 76.5 元,而预应力管桩仅需要 53.1 元,经济效益可观。

表 4 静压预应力管桩与钻孔灌注桩经济效益对比

Table 4 Economic comparison between prestressed pipe pile and bored pile

序号	内容	管径/mm	总造价/ 万元	造价		备注
				每米造价/ (元·m <sup>-1</sup> )	单桩承载力造价/ (元·t <sup>-1</sup> )	
1	预应力管桩	PHC 600 A(130)	846	354	53.1	含引孔、场地铺设、管桩灌 芯等工作内容
2	钻孔灌注桩	Φ600、Φ700	984	450	76.5	以原始地坪钻孔计,含注浆 工作内容

6 结 语

与钻孔灌注桩施工相比较,高层建筑采用静力压桩法施工具有显著的经济效益。对于难以穿越的厚度较大的硬质土层,静力压桩法应辅以引孔压桩法施工,引孔压桩应优先考虑使用长螺旋液压机施工,对难以穿越的硬质土层可以采用潜水钻施工。从实例中可以看出,采用潜水钻的单桩极限承载力比施工阶段的终压荷载提高了 44%~79%。在静力压桩法施工中,桩机的选择、管桩强度与质量、场地处理、引孔压桩法的选择与利用及打桩顺序是关键,处理好这些问题,可以缩短工期并提高经济效益。

参考文献:

[1] 信息产业部电子综合勘察研究院. 岩土工程勘察报告书[R]. 2011.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 静压桩施工技术规程(征求意见稿)[S].

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ94—2008,建筑桩基技术规范[S].

[4] 广东省住房和城乡建设厅. 静压预制混凝土桩基础技术规程(征求意见稿)[S].

[5] 刘古岷. 桩工机械[M]. 北京:机械工业出版社,2001.

[6] 王离. 静压管桩具有广阔的发展空间[J]. 混凝土世界,2011(1):24-26.

[7] 史佩栋. 深基础工程特殊技术问题[M]. 北京:人民交通出版社,2004:510-511.

[8] 浙江煤炭测绘院. 单桩竖向抗压静载荷试验报告[R]. 2012.

[9] 张明义. 静力压入桩的研究与应用[M]. 北京:中国建材工业出版社,2004:22-92.