

# 67 m 预应力混凝土方桩及六点吊技术的工程应用

许廷兴, 赵宇

(中交第二航务工程勘察设计院, 武汉 430071)

**摘要:**介绍了 60~67 m 超长、600 mm×600 mm 断面的预应力混凝土方桩及六点吊桩工艺应用于常熟兴华港区二期工程的设计与施工情况。

**关键词:**高桩码头; 桩基; 预应力混凝土方桩; 六点吊; 工程应用

**中图分类号:** U656.113 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-3688(2005)01-0044-03

## Engineering Practice of 67-m Prestressed Concrete Square Piles and Six-Point Handling Technology

XU Ting-xing, ZHAO Yu

(CTE-Wuhan Design & Consulting Corp., Wuhan 430071, China)

**Abstract:** The paper presents an introduction to the prestressed concrete square piles of 60—67 m long with a profile of 600 mm×600 mm and the six-point handling technology as well as the application of the technology in the second phase of Xinghua Port Complex in Changshu.

**Key words:** piled wharf; pile foundation; prestressed concrete square pile; six-point handling; engineering application

### 1 引言

预应力混凝土方桩是高桩码头常用的基桩型式之一, 较之 PHC 桩、大管桩和钢管桩, 具有预制场可选择性广、投资省等优点, 但因其抗弯强度较低, 传统的四点吊工艺对桩长有一定限制。根据港工规范中给出的 60 m 以下桩长的四点吊施工参数的要求、吊点位置和最大吊立弯矩计算公式, 可知当方桩桩长达到 55 m 时, 桩的吊立弯矩已相当接近桩的抗弯能力; 实际施工也表明, 吊立过程中桩身弯曲变形很大, 桩容易破损, 虽然个别工程实例中四点吊吊立方桩的最大桩长已超过 55 m, 但实际是施工过程中“吃掉”了应有的安全储备。因此认为, 传统的四点吊工艺已不适宜桩长大于 55 m 的预应力混凝土方桩的吊立。此外, 长桩在沉桩之初桩的自由长度相对更长, 断桩的风险更高。基于以上两个原因, 尚未见到方桩长度超过 60 m 的应用实例。

常熟兴华港区二期工程因使用荷载大和桩持力层埋深大的因素, 桩长达 60~67 m, 该工程创新采用了超长 600 mm×600 mm 预应力混凝土方桩并六点吊新技术。本文简要介绍该工程桩基的设计和施工情况。

### 2 工程概况

该工程位于长江通州沙河段末端徐六泾节点上端的右

岸, 建设规模为 5 万吨级和 1 万吨级 (兼顾 3 万吨级船舶) 泊位各一个及其相应配套设施, 设计货种为钢铁、木材、纸和纸浆, 并考虑适应集装箱装卸和重件的通行。码头平面布置采用引桥连片式布置形式, 码头总长度 423.2 m, 其中码头平台长度 355.2 m, 宽度 34 m; 东端 68 m 处设系缆墩一座, 采用 2 座 16 m 宽引桥与后方陆域连接。港工建筑物采用高桩梁板式结构。上部结构由现浇横梁、预安钢筋混凝土边梁和纵梁、预安预应力混凝土轨道梁和钢筋混凝土迭合板组成。基桩采用 60~67 m 超长 600 mm×600 mm 预应力混凝土方桩。因业主要求码头平台均布荷载按 45 kN/m<sup>2</sup> 控制, 所以排架间距 6.4 m, 每榀排架布置 10 根桩, 基桩数量共计 645 根, 其中码头平台桩 560 根, 引桥、系缆墩、变电站平台桩 85 根。码头区地处长江河口三角洲地带, 0~70 m 覆盖层属现代三角洲相沉积, 主要由粉、细砂与粘性土层交替出现, 桩基持力层埋藏较深, 钻孔揭示其层面标高在 -57~-62 m 之间。典型地质剖面图和港工结构断面图详见图 1。

### 3 设计与研究

#### 3.1 吊桩工艺研究

60~67 m 超长混凝土方桩长细比高达 100~112, 常规四点吊沉桩已不满足施工期方桩的受力要求, 采用五点吊或六点吊工艺。根据动滑轮布置方式, 图 2 给出了 6 个典型的布置方案。这些方案从理论计算方面来看均属静定问题,

收稿日期: 2004-06-25

作者简介: 许廷兴 (1964—), 男, 副总工程师, 港口与航道专业。

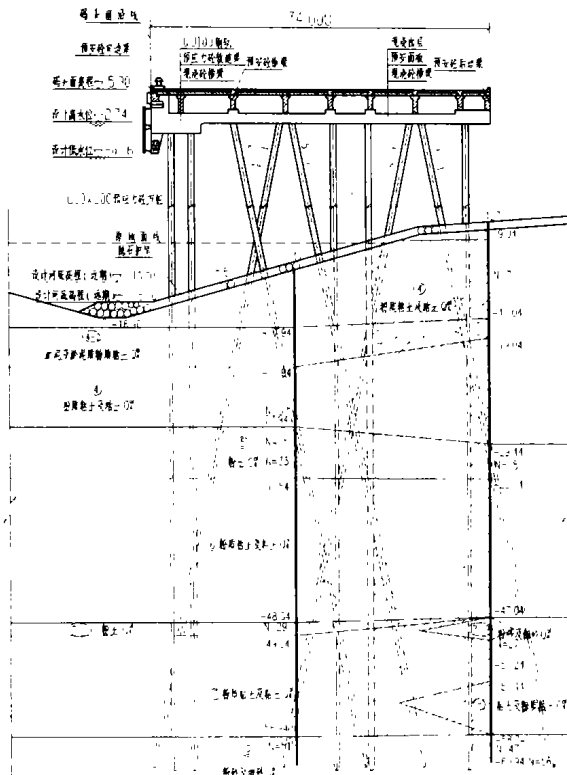


图 1 港工结构断面图

从施工可行性和方便性方面进行筛选得出最佳方案。这些布置方案的差别，主要表现在打桩船两吊钩中桩头吊钩连接吊点的多寡和单钩下动滑轮数量的奇偶性上。当桩头吊钩连接吊点较多时，则对打桩船桩架高度的要求较高；当两吊钩中任一吊钩下存在偶数动滑轮布置时，则在吊桩解扣后动滑轮系统平衡性不好，且捆桩起吊时绑桩不便。因此，对五点吊，方案 1 是最佳方案；对六点吊，方案 4 是最佳方案。本工程采用六点吊工艺，滑轮布置采用方案 4。

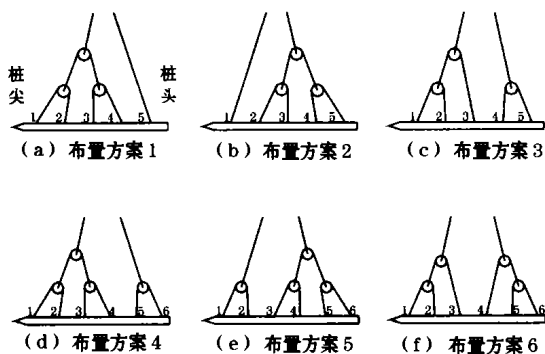


图 2 典型布置方案示意图

### 3.2 吊点位置和吊立弯矩

#### 3.2.1 设计吊立参数

分析国内打桩船现状，以三航局“桩 11”或“桩 12”为基准确定施工可行的主要吊立参数如下：

$H_0$ ：有效吊高，桩架上两定滑轮中心线距桩轴线（未吊立前平吊时）的高度， $H_0=58\text{ m}$ ；

$H_1$ ：桩架上两定滑轮中心线距水面的高度， $H_1=64\text{ m}$ ；

$d_0$ ：吊索在两定滑轮中心线高度处的水平距离， $d_0=3.5\text{ m}$ ；

$S_1$ ：吊索  $D_1C_1D_2$  捆绑后有效长度， $S_1=30\text{ m}$ ；

$S_2$ ：吊索  $D_3C_2D_4$  捆绑后有效长度， $S_2=30\text{ m}$ ；

$S_3$ ：吊索  $D_5B_2D_6$  捆绑后有效长度， $S_3=30\text{ m}$ ；

$S_4$ ：吊索  $C_1B_1C_2$  捆绑后有效长度， $S_4=30\text{ m}$ 。

各吊立参数意义详见图 3。

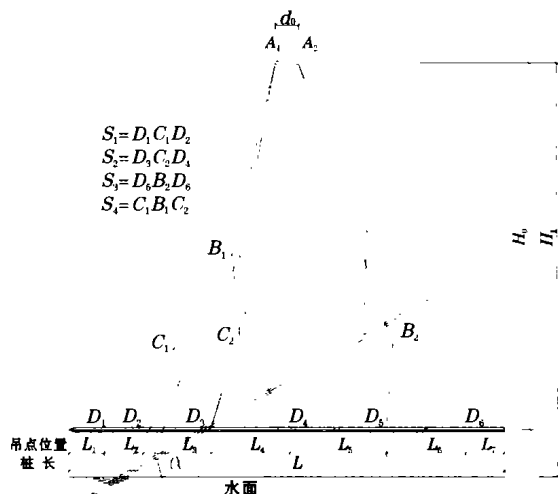


图 3

#### 3.2.2 计算假定

(1) 采用静力学方法，吊立过程中的动力因素沿用传统的动力系数表达。

(2) 动滑轮的尺寸和重量，吊索的重量略去不计。

(3) 吊索与动滑轮间的摩擦略去不计，即同一吊索的张力各处相等。

(4) 在吊立过程中，定滑轮高度保持不变，即  $H_1$  维持不变；

(5) 在吊立之初，吊索  $A_1B_1$  的长度维持平吊时的长度不变，通过收缩吊索  $A_2B_2$  完成吊立；当桩吊立至一定角度以后，桩尖开始入水，为控制桩的入水长度（不超过 10 m），在必要时需收缩吊索  $A_2B_2$ 。

#### 3.2.3 计算方法与结果

本计算问题虽属静定问题，但包含多个三角函数方程的联合求解，需采用数值方法编程计算。现给出从六点吊计算程序得到的主要计算结果及结论：

(1) 不同桩长的桩其优化吊点位置是不同的，但差别甚小，可统一表示为： $L_1=0.080L$ 、 $L_2=0.090L$ 、 $L_3=0.158L$ 、 $L_4=0.180L$ 、 $L_5=0.222L$ 、 $L_6=0.182L$ 、 $L_7=0.088L$ 。 $L$  表示桩长， $L_1\sim L_7$  为吊点位置特征参数，意义详见图 3。

(2) 吊立过程中产生的最大吊立弯矩设计值为 215 kN·m (67 m 桩)，若沿用桩基规范中四点吊吊立弯矩计算

公式  $M_a = \alpha\beta\gamma qL^2$  进行表达, 相当于  $\beta = 0.005$  ( $\alpha = 1.1$ ,  $\gamma = 1.2$ ,  $q = 7.233 \text{ kN/m}$ );  $\beta$  随桩长的不同而有所不同, 但差别甚小。所以, 仅从吊立角度来讲, 在打桩船桩架高度足够的前提下, 六点吊工艺适应的方桩长度可长达 90 m。

(3) 优化吊点位置下桩的最大吊立正弯矩和最大吊立负弯矩基本相近, 吊立过程中最大正弯矩发生在吊立初期, 一般当吊立至桩轴线与水平面的夹角  $\alpha$  超过  $30^\circ$  以上时, 其值显著变小; 最大负弯矩发生在吊立中期, 吊立过程中一直较大, 一般当  $\alpha$  超过  $60^\circ$  以上时, 其值才显著变小。

(4) 不同的吊立参数下优化吊点位置是不同的, 吊立参数取值越大, 相应优化吊点位置下桩的最大吊立弯矩越小。施工可行的吊立参数与打桩船桩架高度密切相关, 因此, 打桩船桩架高度越大, 对桩的吊立施工越有利。

(5) 在与设计吊立参数对应的优化吊点位置保持不变的前提下, 吊立参数因施工误差发生改变, 无论是增大还是减小, 最大吊立弯矩均有增加; 同样, 设计吊点位置因施工误差发生改变, 最大吊立弯矩亦有增加。因施工误差产生的吊立参数和吊点位置的变化相对较小, 所以, 最大吊立弯矩的增加也有限。以 67 m 桩为例, 当吊立参数增减 2 m 和 / 或吊点位置发生 0.1 m 的改变时, 最大吊立弯矩的增加均不超过 8%。

### 3.3 顺利沉桩的保障措施

采用六点吊工艺解决了超长方桩的吊立问题。为保证超长方桩的顺利实施, 减少沉桩时的断裂和破损, 本超长桩设计主要采用了如下工程措施:

(1) 沉桩初期在桩架上增设软背板的施工要求, 以减小沉桩初期桩的自由长度。

(2) 斜桩不宜太斜, 设计选用 5:1 斜桩。

(3) 桩顶设置钢抱箍, 其 2 m 范围内的混凝土掺入钢纤维, 提高桩头抗锤击能力。

(4) 根据预制场预制台座的张拉能力, 在不超过其张拉力 (3 000 kN) 的前提下适当增加方桩预应力钢筋的配置, 以提高方桩承受打桩应力的能力。配置 4 根  $\varnothing 28$  和 8 根  $\varnothing 25$  冷拉 III 级钢筋, 比一般方桩增加 8.5% 的配筋量。

(5) 考虑到桩截面突变处的应力集中, 在桩的实心与空心截面交界处, 增设 6 m 长  $\varnothing 16$  的 I 级钢筋。

### 4 工程实施概况

本工程于 2001 年 6 月开展设计前期工作, 同年 7 月、9 月、10 月分别完成预可研、工可研和初步设计, 2002 年元月完成港工建筑物施工图设计。2001 年 10 月进行两根 62 m 桩的六点吊吊立和试沉桩试验; 2002 年 2 月正式施工, 3—8 月完成全部桩基工程的施工, 打桩船为三航局“桩 12”, 桩锤采用 D100; 2003 年 6 月整个工程完成竣工验收。桩基实际施工表明:

(1) 六点吊工艺吊立过程平稳, 桩身顺直, 相对四点吊工艺具有明显的优势, 且吊桩辅助作业时间的增加极为有限。

(2) 平均每天沉桩 7~8 根, 终锤贯入度一般 5~8 mm, 个别达到 3 mm。沉桩过程顺利, 桩尖大多数达到设计标高, 少量桩桩尖标高虽未达设计标高, 但差值不超过 1 m。沉桩完好率高, 540 根超长方桩共计断桩 5 根, 断桩率不到 1%。

(3) 在打桩过程中, 肉眼观察桩架增设软背板处桩的水平颤动最大可达 15 cm 左右, 虽然如此, 桩架增设软背板的措施对减小断桩率仍然有显著效果。

### 5 结语

(1) 本工程设计大胆而慎重稳妥地采用了 60~67 m 超长 600 mm  $\times$  600 mm 预应力混凝土方桩并六点吊新技术, 施工获得圆满成功。根据施工单位对本工程引桥 PHC 桩的合同单价, 计算码头平台采用超长混凝土方桩为本工程节省投资约 540 万元。

(2) 超长预应力混凝土方桩并六点吊新技术已推广应用用于兴华港区三期工程和当地其它几个工程, 类似地质条件下的工程可借鉴采用。

(3) 六点吊工艺可适应更长的预应力混凝土方桩, 工程实施成功的关键在于沉桩。若地表层存在较硬土层, 则采用超长预应力混凝土方桩要慎重, 如能改善软背板的设置使该处桩的水平颤动大大减小, 超长预应力混凝土方桩的成功实施仍有可能。

(上接第 25 页)

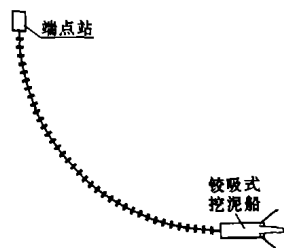


图 3 管线布置

时, 水中浮管方案的水流力是浮舟托管方案的 2.86 倍, 因此采用浮舟托管方案是有利的。同时, 若采用图 2 的管线布置, 在管线中增设一定数量的系固锚, 这对减少管线受力和

在往复流区域稳定管线都是有效的。

### 4 结论

从以上的分析和比较可以看出, 浮舟托管输泥管线比常规的水中浮管输泥管线具有更好的安全性, 尤其在疏浚区域水流速度较大的情况下, 更体现出其优越性。

### 参考文献:

- [1] Jos Smith. Environmental Aspects of Dredging, Guide 4: Machines [J]. Methods and Mitigation, 1998, (1), 6-10.
- [2] 王绍周. 管道工程设计施工与维护 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2000. 158-159.
- [3] JTJ215-98, 港口工程荷载规范 [S].