

# 高桩码头构件吊装新技术

缪晨辉, 曾 晖, 王晓光

(中铁港航局集团有限公司, 广东 广州 510660)

**摘要:** 在高桩码头预制构件安装中, 传统工艺一般都采用起重船施工。在某些工程中, 天气恶劣、海况复杂, 在利用起重船安装时, 受风浪等因素的影响, 施工进度缓慢, 配套船机投入大、利用率低、成本大, 安全风险高。主要介绍一种码头预制构件吊装技术, 转水上施工为陆上施工。采用该技术安装码头预制构件, 作业时间长, 安装速度快, 风险小, 精度高, 造价低, 在外海无掩护海域作业时尤为明显。

**关键词:** 高桩码头; 构件安装; 吊装机

中图分类号: U 656.1<sup>+</sup>13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)02-0176-05

## New technology of components installation in piled wharf

MIAO Chen-hui, ZENG Hui, WANG Xiao-guang

(China Railway Port and Channel Engineering Group Co., Ltd., Guangzhou 510660, China)

**Abstract:** In installation of prefabricated members of high-pile wharf, the floating crane is used traditionally. In some projects with bad weather and complex sea condition, by installation by floating crane faces many problems, such as slow installation, great investment of supporting ships and machines, low utilization rate, great cost and safety risks. This article introduces a dock prefabricated hoisting technique, which changes the water construction to the land construction, and which has the advantages of quick installation, less risks, high accuracy and low cost, and thus is especially advantageous in unsheltered sea area.

**Keywords:** high-pile wharf; component installation; hoisting machine

### 1 工程背景

盐城港大丰港区三期通用码头采用高桩板梁式结构, 外侧设有2个5万吨级通用泊位, 水工结构按10万吨级散货船设计; 内侧设有3个5000吨级泊位、1个工作船舶位, 内侧通用泊位水工结构均按靠泊2万吨级散货船设计。码头总长度为560 m、宽度为53 m, 码头平台共计66个排架, 每个排架6个桩帽, 排架间距为9 m、净间距6.4 m, 码头断面见图1。码头预制构件有预应力纵横梁、预应力面板、靠船构件、水平撑、走道板, 数量大且种类多, 共1870片, 细部型号有95种, 其中两侧最大预应力轨道梁质量达47.8 t, 最大靠船构件达22.4 t。

大丰位于江苏东部、南北交界处, 季节变化明显, 冬季极端低温为 $-9.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 最大风速为 $11.4\text{ m/s}$ , 近年来受台风影响大。全年施工黄金期为4—7月, 7—9月受台风影响大, 而10月—次年2月受西北冷空气影响大, 风力强劲, 气温较低, 不利于施工, 有效施工时间十分有限。大丰港区所在西洋深槽海域为强海流海区, 涨潮流向偏南, 落潮流向偏北, 涨落潮流速很大, 表层最大流速 $2\text{ m/s}$ , 给施工船舶造成较大的影响。为了在业主要求的工期内完成架设作业, 需在7—9月台风季节及10月后寒潮季节的时间段内进行架设, 必须解决水上船舶在风浪影响下不能作业的问题。

收稿日期: 2015-07-08

作者简介: 缪晨辉(1985—), 男, 工程师, 从事港航工程技术管理。

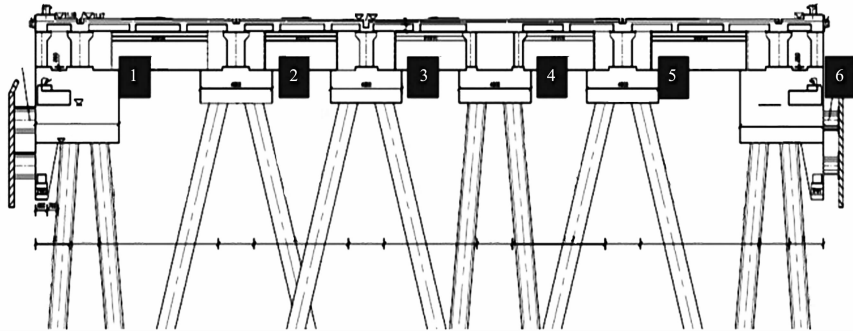


图1 码头断面

## 2 方案比选

针对大丰港区的环境特点, 首先考虑传统的起重船施工<sup>[1]</sup>, 如采用起重船吊装工艺, 成本投入大, 可作业时间少, 安全风险高, 安装精度低。尤其是起重船停泊在岸侧时, 容易在无预报的突风、阵风影响下冲撞引桥。其次考虑采用架桥机施工<sup>[2]</sup>, 架桥机适用于引桥施工, 但施工过程中需要多次过孔, 工艺复杂, 施工安全风险高。在除引桥以外的码头工程施工中, 传统架桥机受各种条件制约, 无法推广使用。

在这种背景下, 急需研究一种码头预制构件安装的起重设备及配套技术<sup>[3]</sup>, 转水上施工为陆上施工, 以解决风大、浪急等因素影响, 同时提高码头预制构件的安装效率, 减小风险, 降低成本。

## 3 吊装机设计

### 3.1 总体思路

沿码头长度方向设置两条平行的行车轨道, 每条行车轨道上各设置一套支腿行走装置。支腿行走装置由2条支腿、支腿顶部滚动托架及下部行走机构三者组成, 其中支腿有液压千斤顶, 可控制支腿升降, 以便于吊装机过孔, 见图2、3。支腿上设置垂直码头长度方向的主纵梁2条, 主纵梁上设置1~3个纵移横梁, 以满足两支腿之间、前后、左右各个方向全方位的预制构件架设(图4)。

### 3.2 行车轨道

#### 3.2.1 行车轨道选择

由于码头双侧靠船, 考虑到前后沿桩帽需安装靠船构件、走道板后才能完成下桩帽浇筑, 而靠船构件和走道板正是水上吊装机安装的重要构件, 因

此水上吊装机的行车轨道只能设置在前沿第2排和后沿第2排桩帽上, 即2#和5#桩帽上(图1)。



图2 行走装置



图3 支腿顶部滚动托架

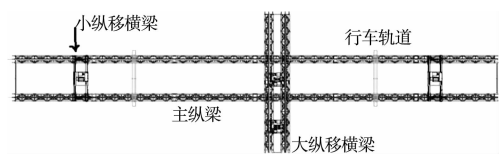


图4 吊装机示意图

#### 3.2.2 行车轨道参数

行车轨道搁置点的净间距为6.4 m, 为保证上部水上吊装机在架设过程的安全, 设置箱形结构

的承载梁,其顶部中心轴线处焊接钢轨,以供水上吊装机横移。箱形结构承载梁采用 16 Mn 钢板拼焊而成。

箱形结构主要截面特性为:  $I_x = 281\ 536.64\ \text{cm}^4$ ,  $W_x = 8\ 043.9\ \text{cm}^3$ ,  $A = 336\ \text{cm}^2$ ,  $[\sigma] = 230\ \text{MPa}$ 、 $[r] = 208\ \text{MPa}$ 、 $E = 2.1 \times 10^5\ \text{MPa}$ ,  $[f] = 1/500$ 。

### 3.2.3 行车轨道固定

在浇筑下桩帽时预埋拉环,行车轨道铺设后,在行车轨道两侧用葫芦拉于预埋拉环上,以固定行车轨道。

### 3.3 吊装机吊装设计

#### 1) 轨道两侧构件安装设计。

水上吊装机行车轨道设置在 2# 和 5# 桩帽中心线上,由于需要完成 1# ~ 2# 以及 5# ~ 6# 桩帽之间的梁及面板安装,因此,在垂直码头长度方向设计三角桁架主纵梁,长度为 60 m,其中悬臂部分为前部 17 m、后部 17 m,两中支腿跨距为 26 m,两主纵梁中心距为 14 m (图 5)。

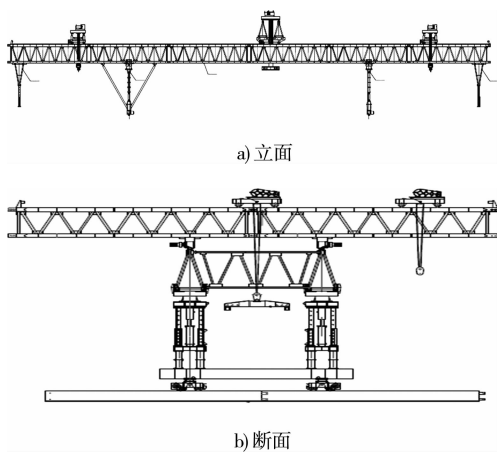


图 5 吊装机

主纵梁单组桁架的截面特性为:  $I_x = 3\ 627\ 240.3\ \text{cm}^4$ ,  $W = 33\ 978.83\ \text{cm}^3$ ,  $A_{上} = 118.08\ \text{cm}^2$ ,  $A_{下} = 98.88\ \text{cm}^2$ ,  $[\sigma] = 230\ \text{MPa}$ 、 $[r] = 208\ \text{MPa}$ 、 $E = 2.1 \times 10^5\ \text{MPa}$ 、 $[f] = 1/400$ 。

#### 2) 轨道梁安装设计。

考虑悬挑安装 2# 和 5# 桩帽上的轨道梁,设计大纵移横梁以满足安装需求。大纵移横梁后悬臂 9 m、前悬臂 10 m,中间为两主纵梁跨距 14 m,大纵移横梁上设有 1 台 60 t 横移天车,“6X7”滑

组及可旋转 360° 吊钩扁担梁组成升降机构,及 1 ~ 2 台小天车 (小天车在悬挑构件时可用于吊配重)。同时考虑到轨道两侧构件安装配重设计,根据需要在纵移横梁侧面设置 1 ~ 2 个小纵移横梁,小纵移横梁为箱形结构,上部各为 1 台小天车 (图 5)。

纵移横梁的截面特性为:  $I_x = 2\ 214\ 869.86\ \text{cm}^4$ ,  $W = 25\ 026.8\ \text{cm}^3$ ,  $A_{上} = 109.44\ \text{cm}^2$ ,  $A_{下} = 85.72\ \text{cm}^2$ ,  $[\sigma] = 230\ \text{MPa}$ 、 $[r] = 208\ \text{MPa}$ 、 $E = 2.1 \times 10^5\ \text{MPa}$ 、 $[f] = 1/400$ 。

## 4 施工工艺

### 4.1 总体思路

在已经沉桩的钢管桩上,待下桩帽浇筑完成后,在 2# 和 5# 桩帽上铺设行车轨道,利用建成的引桥拼装吊装机,通过过孔方式将吊装机纵移至码头,然后进行构件试吊,确定安全可靠后方可进行构件安装。为满足安装进度及协同作业需要,需设置两台吊装机,一台行走于下桩帽顶部,一台行走于已经安装好的轨道梁顶部,两台全方位吊装机轨道轴线相同,但轨道底高程不同,所架设预制构件范围不同,两台全方位吊装机同步施工,形成流水作业。整个施工过程中,仅需一次过孔,即可实现构件的全方位吊装,有效地降低了施工成本与安全风险。

### 4.2 吊装机拼装及过孔

利用已经建成的引桥拼装吊装机,沿码头宽度方向逐步过孔<sup>[4]</sup> (与双导梁架桥机过孔工艺相似),行走至行车轨道轴线上。吊装机从引桥移动至码头时主要利用支腿上的滚动托架行走,待行走到位后,将滚动托架行走装置锁死,并将支腿设置为一刚一柔 (如果都为刚性支腿,当下部轨道安装间距出现较小偏差,轮子会跳出轨道而出现意外,而柔性支腿不会出现上述问题),完成全方位吊装机的拼装与就位。而后续行车轨道采用吊装机大纵移横梁的前悬臂,向前铺设行车轨道。随后利用支腿下方的底部行走机构,通过行车轨

道沿码头长度方向行走架设预制构件。工作过程见图 6、7。

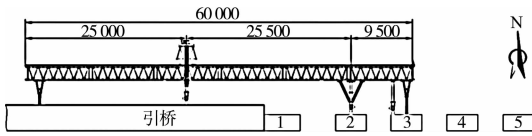


图 6 支腿收放 (单位: mm)



图 7 吊装机过孔完成

吊装机逐步拼装、前行及过孔流程如下:

- ①在引桥端头及 1# 桩帽顶部先拼装 2 套支腿, 再安装 10 m + 15 m + 5 m 共 3 节纵梁;
- ②纵梁利用支腿上的滚动托架, 向海侧行走 5 m;
- ③安装 1 节 10 m 的纵梁及前后辅助支腿;
- ④纵梁向海侧行走 5 m, 并顶出后辅助支腿千斤顶, 吊车在引桥上从后方安装顶部纵移横梁;
- ⑤纵移横梁向海侧行走一定距离, 再安装 1 节 10 m 的纵梁;
- ⑥收起后辅助支腿千斤顶, 纵梁向海侧行走 5 m, 顶出前辅助支腿千斤顶支撑在 3# 桩帽上;
- ⑦再增加 10 m 的纵梁, 完成 60 m 纵梁安装, 收起 1# 桩帽上的支腿千斤顶, 支腿由 1# 桩帽移动至 2# 桩帽, 纵梁往海侧移动;
- ⑧利用支腿及辅助支腿, 反复收放, 直至 2 个支腿分别在 2# 和 5# 桩帽的轨道上。

经过以上 8 个步骤完成了全方位吊装机拼装及过孔作业, 随后开始依托引桥桥头, 进行试吊, 并架设码头第一分段的 1~3 排桩帽上预制构件, 并最终将纵梁向码头宽度方向走到位后, 将支腿顶部的滚动托架行走装置锁死, 架设前沿下桩帽靠船构件, 同时浇筑已经完成构件安装部分的面层浇筑, 形成通道。

### 4.3 试吊

在现场进行试吊, 特别是悬挑部分进行试吊, 确保行车轨道、吊装机下部结构、主纵梁、纵移横

梁及整机性能均满足施工需要。试吊过程中, 架设码头第 1 排至第 3 排桩帽上预制构件, 同时浇筑已经完成构件安装部分的面层浇筑, 形成通道。

### 4.4 码头施工工艺流程

码头施工工艺流程见图 8。

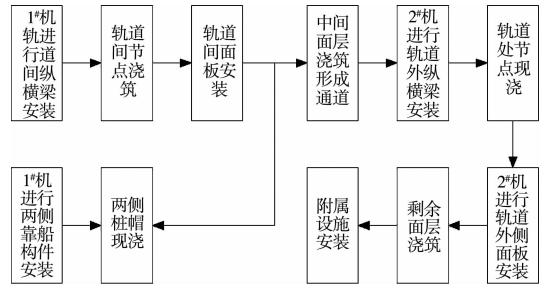


图 8 工艺流程

1# 机在架设完行车轨道中间的面板后, 浇筑轨道之间的运输通道, 2# 机利用已经形成的中间运输通道随后跟进, 形成流水作业。1# 机和 2# 机间隔一定步距, 同时向前走, 互不影响, 加快架设效率。

### 5 安装过程的控制措施

#### 5.1 配重设计

在安装悬挑部分构件时, 为满足抗倾覆稳定性等要求<sup>[5]</sup>, 特设计配重, 以满足要求。现场施工中, 可通过预制构件作为配重辅助进行安装。

#### 5.2 辅助支腿设计

在前后沿下桩帽浇筑完成后, 主纵梁悬挑架设 1#、6# 桩帽上部的轨道梁时, 因轨道梁质量最大为 48 t, 悬挑 10.5 m, 此时主纵梁强度刚度校核理论值满足要求, 但现场实测端头挠度稍大, 为改进现场工况, 通过利用辅助支腿, 加设支撑以满足现场工况。

#### 5.3 混凝土面层分区域浇筑

施工过程中, 混凝土先浇筑中间运输通道部分的 1 区域, 再浇筑两侧的 2 区域, 最后浇筑前后沿的 3 区域 (图 9、10)。

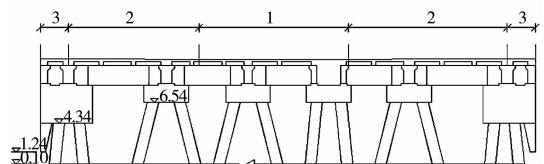


图 9 分区域浇筑 (单位: m)



图10 配重、辅助支腿及面层浇筑

#### 5.4 防台风、防大风

在台风及大风来临前,吊装机利用最近的已经浇筑好的桩帽或安装好的预制构件,将缆风绳拉于下部结构物上。

### 6 经济效益分析

吊装机研制投入约300万元,设备可重复利

用。与起重船安装比较,起重船需配备100 t汽车吊1台(预制构件装车)、运梁车3台、200 t汽车吊1台(大件码头吊装上船)、驳船3艘、300 t起重船1艘、2 400匹(1 764 kW)拖轮1艘、锚艇1艘,含油耗,再加上安装的人工费、大件码头使用费和出运费,水上安装可作业时间少,工期按6个月考虑,总价约为1 566万元,如采用水上吊装机方案约703万元。因此利用水上吊装机安装预制构件,同时考虑船舶的防台费用,节约成本约860万元,节约近55%。吊装机安装码头构件成本分析见表1。

表1 吊装机安装码头构件成本分析

| 项目名称        | 单位             | 数量     | 工期/月 | 单价/(元·台 <sup>-1</sup> ·月 <sup>-1</sup> ) | 合价/元      | 说明                |
|-------------|----------------|--------|------|--|-----------|-------------------|
| 100 t汽车起重机  | 台              | 1      | 5    | 134 000                                  | 670 000   | 存梁区至运梁车转运,含油      |
| 运梁车         | 台              | 6      | 5    | 30 000                                   | 900 000   | 预制构件的陆上运输,含油      |
| 提升站         | 台              | 1      | 5    | 25 000                                   | 12 5000   |                   |
| 150 kW发电机   | 台              | 1      | 5    | 10 000                                   | 50 000    | 含1名操作工(备用)        |
| 专用变压器       | 台              | 1      | 5    | 8 000                                    | 40 000    | 含1名操作工            |
| 电费          | 项              | 1      |      |  | 450 000   | 全施工期              |
| 水上吊装机转运费    | 项              | 1      |      |  | 250 000   | 从福建运至江苏大丰1 300 km |
| 水上吊装机制造费摊销  | 项              | 1      |      |  | 1 500 000 | 研发费用300万元,按50%摊销  |
| 水上吊装机的拼装与拆除 | 项              | 1      |      |  | 150 000   | 含拼装、调试、检测及拆除等     |
| 构件安装人工费     | m <sup>3</sup> | 19 332 |      | 150                                      | 2 899 882 | 全部安装过程的人工费用       |
| 合计          |                |        |      |  | 7 034 882 |                   |

注:以上费用及单价均按当地市场价(含税)进行测算。

### 7 吊装机的优势

1) 吊装机及配套技术应用,将水上施工转为陆上施工,克服了波浪、水流等环境因素影响,实现了在外海无掩护水域码头预制构件全方位的精确安装。

2) 吊装机利用引桥拼装,通过纵向移动,一次过孔,工艺简单,施工风险低。

3) 双台吊装机分区域同时施工,形成流水作业,每日可完成20件预制构件安装,安装效率高。

4) 水上吊装机安装成本仅约起重船安装成本的50%,经济效益显著。

5) 不需要吊装起重船及其配套船舶的投入,大大减少了船舶海上施工的安全隐患,同时由于吊装机采用电网供电,无燃油消耗,节能环保。

### 8 结论

1) 在实际施工中,可根据各个规格型号预制

构件的安装要求,利用标准组件组装成不同吊装机形式,以适应各个工况施工。

2) 码头预制构件吊装机的研发及配套技术应用,打破了传统港航施工的惯性思维,社会效益显著。

#### 参考文献:

- [1] JTS 167-1—2010 高桩码头设计与施工规范[S].
- [2] 李琦. 码头箱梁采用架桥机安装技术实践[J]. 中国水运, 2014(2): 154-156.
- [3] 方尚伟. 宽平台码头上部预制构件的安装[J]. 水运工程, 2009(6): 137-139.
- [4] 罗莉婷, 付永乐. 万家湖大桥SDLB系列双导轨梁架桥机架梁施工技术[J]. 交通科技, 2010(7): 6-9.
- [5] 江正荣, 朱国梁. 简明施工计算手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

(本文编辑 武亚庆)