

曹妃甸煤码头大型组合钢板桩施工工艺探索

焦卫峰¹, 刘涛²

(1. 中交第一航务工程局有限公司, 天津 300461; 2. 中交一航局第一工程有限公司, 天津 300456)

摘要: 文章主要对曹妃甸煤码头大型组合钢板桩施工工艺的探索过程及最终方案的选择及方案的实施进行了论述。结果表明, 整个工程共振沉组合钢板桩 875 套, 其中“H”型主桩全部达到设计标高; “AZ”型副桩 95% 达到了设计标高, 其余也在设计允许误差范围内。沉桩效果良好。

关键词: 大型组合钢板桩; 施工工艺

中图分类号: U565.112; U565.133

文献标识码: A

文章编号: 1003-3688(2008)03-0049-04

Research on Technologies for Driving of Large Assembled Steel Sheet Piles in Caofeidian Coal Terminal

JIAO Wei-feng¹, LIU Tao²

(1. CCCC First Harbour Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

2. No.1 Eng. Co., Ltd. of CCCC First Harbour Engineering Co., Ltd., Tianjin 300456, China)

Abstract: The paper describes the researches on the technologies for driving of large assembled steel sheet piles in Caofeidian Coal Terminal, selection of the final driving method and implementation of the selected method. The results showed that, among the 875 sets of the steel sheet pile assemblies installed for the project, all the H-shape main piles were driven to the design depth, 95% of the AZ-shape auxiliary piles were driven to the design depth, and the rest of the piles were within the design deviation. All the piles were driven with good quality.

Keywords: large assembled steel sheet pile; research on construction technology

1 工程概况

曹妃甸煤码头位于河北省唐山市曹妃甸港区, 西距天津港 38 n mile, 东北距京唐港 33 n mile, 秦皇岛港 92 n mile。码头建设 10 万吨级泊位 2 个、7 万吨级泊位 2 个、5 万吨级泊位 1 个, 年通过能力 5 000 万 t。码头布置在挖入式港池内, 岸线长度 1 564 m, 顶面高程 +4.5 m, 前沿设计水深 -15.5 m。码头结构采用遮帘式“HZ”组合型钢板桩结构, 前墙采用 HZ975B-12/AZ18 型组合钢板桩, H 型桩与 AZ 型桩采用 RZU16 和 RZD16 锁口相连接, 其中“H”型桩长度 29 m, 底标高 -28 m, “AZ”型副桩长度 23 m, 底标高 -22 m。码头所用钢板桩全部由卢森堡阿赛洛国际钢铁厂采购。

曹妃甸煤码头是目前中国最大的组合型钢板桩结构码头, 也是世界第一座遮帘式组合型钢板桩结构码头。钢板桩前墙结构见图 1。

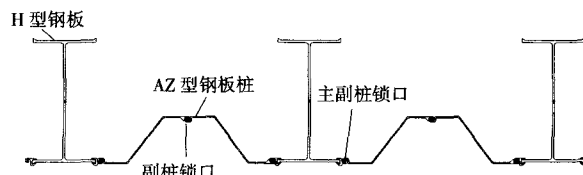


图 1 钢板桩前墙结构

2 工程地质

码头区域土层分布较有规律, 自上而下分别为: ①粉细砂; ②₁ 粉质粘土; ②₂ 粉土或粉砂; ③₁ 粉质粘土或粘土; ③₂ 粉质粘土; ④₁ 粉土; ④₂ 粉砂; ⑤粉质粘土。

①粉细砂: 青灰色, 灰色, 松散~密实状, 局部以细砂为主, 含贝壳碎屑和少许云母屑, 局部夹粉土或粉质粘土透镜体, 颗粒均匀。该层层位稳定, 分布连续, 上软下硬。该层底标高在 -13.78~-16.28 m 之间。平均标贯击数 $N=31.6$ 击。

②₁ 粉质粘土: 灰~深灰色, 软塑~可塑状, 中~中下塑性。混较多粉砂团, 土质不均。该层层位稳定, 分布连续。层底标高在 -17.11~-24.35 m 之间。平均标贯击数 $N=7.4$ 击。

收稿日期: 2008-04-07

作者简介: 焦卫峰(1971—), 男, 陕西富平人, 高级工程师, 工程管理部副经理, 主要从事港口与航道工程施工。

②₂ 粉土或粉砂:灰色,可塑~硬塑状,低塑性。含大量粉砂团。该层层底标高在-20.36~-26.02 m 之间。粉土平均标贯击数 $N=26.1$ 击。粉砂平均标贯击数 $N=33.4$ 击。

②₃ 粉质粘土或粘土:灰色、深灰色、褐灰色,可塑~硬塑状,中上塑性,局部夹砂斑。该层层底标高在-26.04~-31.38 m 之间。平均标贯击数 $N=12.4$ 击。

③₁ 粉质粘土:褐色、灰黄色、黄褐色,可塑~硬塑,中~中上塑性,含褐黄色铁锈斑,平均标贯击数 $N=13.7$ 击。

④₁ 粉土:褐色、黄褐色,硬塑~坚硬状,低塑性,局部夹粉细砂薄层。平均标贯击数 $N=45.9$ 击。

④₂ 粉砂:灰色、浅灰褐色、黄褐色,密实~极密实,平均标贯击数 $N=49.1$ 击。

⑤ 粉质粘土:褐灰色、褐色,黄褐色,可塑~硬塑,中等塑性。平均标贯击数 $N=13.6$ 击。

3 总体施工方案比选

3.1 水上施打钢板桩

施工方法:先不进行码头区域造陆施工,而进行钢板桩沉桩施工,通过钢板桩施工完成后形成的前墙遮挡后进行码头区域造陆,造陆采用绞吸式挖泥船进行。施工流程为:首先制作水上施工专用导架,采用方驳吊机组配备专用设备施打导桩,再安放导架并固定,继续采用方驳吊机组配专用设备驻位并施打主桩,主桩至设计标高后插打副桩。主副桩的施打设备均为振动锤配方驳吊机组。为防止施工完的钢板桩发生较大位移,在钢板桩前沿施工临时围堰,围堰采用充填袋结构。

优点:不需先进行造陆,在工艺成熟的条件下施工速度较快。

缺点:(1)由于施打钢板桩设备采用方驳吊机组,而方驳采用锚缆固定,受水流及天气影响较大,施工设备安全性较差;(2)由于钢板桩较长,吊高较大,对吊机的吊高及吊重要求非常高;(3)由于施打设备在水上易活动,因此主桩定位难度较大,垂直度不易控制,势必导致后续副桩插打困难,且插打副桩前引桩操作难度较大;(4)由于受水位限制,主副桩施工富裕长度较大,导致采购成本大大提高;(5)当主桩满足不了副桩所要求的垂直度时,副桩施工会非常困难,导致可能无法达到设计标高。

3.2 陆上施打钢板桩

施工方法:首先进行码头临时围堰(充填袋结构)及码头区域陆域形成施工,待达到设计标高(+4.1 m)并进行强夯处理,满足承载力要求后进行钢板桩沉桩施工。施工流程为:首先制作陆上施工专用导架,采用 150 t 履带吊机配备专用设备施打导桩,再安放导架并固定,然后再次采用 150 t 履带吊机配沉桩专用设备施打主副桩。

优点:(1)施工全部在陆地进行,安全度较高;(2)由于陆地施打,不管采用何种施打方法或流程,如果行不通,调整较容易,不需做太大的改变和投入;(3)陆地施工对设备的要求较低,容易选择施打设备;(4)主桩垂直度较易控制,对下一步副桩的施打有利;(5)由于不受水位限制,钢板桩长度满足

设计要求即可,不需要太多的富裕长度,一定程度上可节约采购成本。

缺点:(1)需先做码头临时围堰然后进行陆域形成施工,完成后再进行钢板桩施工,因此施工工期较长;(2)由于码头临时围堰的使用期较长(码头主体完成前),跨越台风季节,因此对围堰的安全度要求较高,围堰施工成本较高;(3)码头区域陆域形成完成后,需进行强夯施工,增强了土壤的密实度,对沉桩带来不利影响。

3.3 方案比较

经综合分析比较并结合现场实际情况,最终确定曹妃甸煤码头钢板桩沉桩采用陆上施工,即先做围堰并造陆,形成陆域施工条件,然后陆地选用合适设备及工艺进行沉桩施工,完成码头主体结构后拆除码头前沿临时围堰,形成港池靠泊条件。

4 陆地沉桩施工方案探索

4.1 初始方案

由于本工程采用“HZ/AZ”组合型钢板桩做码头前墙为国内首次,且本码头区域地质条件复杂,0~-15.0 m 标高均为标贯击数 60~70 的粉细砂,虽然选择了陆地沉桩方案,但就此种类型的钢板桩施工来说,目前国内尚无成熟经验借鉴,因此陆地沉桩方案也需要摸索。根据以往其他类型钢板桩的施工经验,制定沉桩初始方案如下:

施工方法:首先制作专用导架作为沉桩施工的导向装置(高 3.9 m,宽可满足一次振沉 7 根主桩)。施工前,GPS 定位,用振动锤施打导桩,导桩沉入设计标高后将导架安放在导桩上并固定牢靠(导架安放完成后顶标高高出原地面 6 m 左右);选用 1 台我单位既有的 APE400 型液压振动锤(最大激振力 320 t)进行 H 型钢板桩沉桩施工,将 H 型钢板桩桩顶振沉至导架顶面以上 0.5 m 左右位置,第一步振沉完成后,主桩顶标高在+10 m 左右(设计桩顶标高+1.0 m),然后使用 1 台新购置的 DZJ200 型电动锤(最大激振力 140 t),进行 AZ 型组合钢板桩的插打。使得 AZ 型组合钢板桩桩顶标高达到与 H 型钢板桩桩顶标高基本一致处;最后撤离导架,并使用现有的 DH608 型履带式打桩机配 D62 型柴油锤,分别将 H 型和 AZ 型组合钢板桩复打并送至设计标高。

施工顺序:

(1)打设导桩

使用 GPS 控制导桩位置,使用经纬仪校核导桩的轴线方向,导桩的允许偏位在 ± 2 cm 之内,导桩在施打时以贯入度控制为主,以确保导桩受力。

(2)安装导架

吊导架入 4 根导桩内,并使一端的导向桩固定器卡入已打好的钢板桩上(初次除外),使用固定与悬吊装置调整导架的平面位置及导向桩的垂直度,最后拧紧固定装置,导架安装即可完成。

(3)振动锤插打钢板桩

首先使用振动锤插打 H 型钢板桩至导架高度,待 1 组导架(7 根主桩)完成后拆除导架,然后在两 2 个 H 型钢板桩间

插打Z型组拼桩。

(4)使用DH608型履带式打桩机配D62型柴油锤(制作专用替打)将钢板桩打至与地面平。

(5)复打钢板桩

利用另一台打桩机使用D62柴油锤将所有的桩进行单根复打直至满足设计要求为止。

结果:经现场试验,第一步H桩、AZ桩至导架标高(+10.0 m)工艺尚可,施打也比较容易,但第二步采用柴油锤施打H桩比较困难,且贯入度非常小,如果锤击次数较多,则主桩顶部有可能被打裂,且即使H桩下沉一定高度,由于主副桩之间锁口的摩擦力,200 kW电动锤再次振沉副桩非常困难。经现场反复试验,最终否定了该工艺的可能性。

4.2 第二方案

第一方案被实践证明无效后,对原有方案改动如下:

(1)放弃使用D62柴油锤及200 kW电动锤,改用主副桩全部采用APE400锤进行施工。

(2)主桩第一次沉桩完成后,撤离导架,用APE400锤插打副桩至主桩第一步标高处,直至不能施打为止。

(3)制作副桩施工专用夹头,当约10组左右的主副桩达到第一步标高后(距离设计顶标高约10 m),开始采用屏风式打法将主副桩送至设计标高。

结果:第一步施打两种桩并达到导架标高(顶标高+10 m),比较容易;第二步施打AZ桩2~3 m也比较容易;但随着下沉深度的增加,再次施打H桩非常困难,即使锤的性能发挥到最大,桩也无法继续下沉。经几天现场反复多次试验,证明此种工艺仍然无效。

4.3 第三方案

针对第二方案现场实施情况,第三方案做如下改动:

(1)继续使用APE400锤进行主副桩施工。

(2)施工顺序为主桩第一次沉至导架标高后,撤离导架,先不进行插打副桩施工,用APE400锤将主桩二次送入设计标高,待相邻主桩到达设计标高后,再进行副桩插打施工。

结果:插打10组副桩,其中3组达到设计标高,其他沉至一半后即无法继续下沉。从现场实践情况看,此种工艺施工效率极低,工艺即使可行,也仍无法满足施工进度要求。

4.4 第四方案

与第三方案基本相同,不同点考虑到主桩施工时的垂直度偏差,特别是二次振沉主桩时的垂直度偏差(由于二次振沉无导架约束),且标高越低偏差越大,再加上副桩在设计时允许变形8 cm条件,就如何充分发挥8 cm的作用,我们想出了相应的解决办法。即采用螺旋钻机扰动副桩外部土体,减小副桩侧摩阻力,增加副桩变形的可能性,通过这个措施来解决由于主桩的垂直度偏差而带来的副桩下沉困难问题。在主桩二次沉桩到达设计标高后,先对副桩外侧土体进行扰动,然后再插打副桩。经现场试验,共施打30套钢板桩,全部达到设计标高,30套副桩的振沉时间基本相同,均为10 min左右,不同之处在于如果主桩垂直度较好,副桩插打时间较短,否则较长,但基本可以达到设计标高。采用此种工艺每天

可以振沉十多组桩,完全可以满足施工进度要求,并且随着施工的进行,工艺的不断改善,施工效率也在逐渐提高,最多1天(24 h)可下沉30套钢板桩。

5 最佳施工方案详述

5.1 施工方法

测量人员施放出导桩位置,采用APE400锤施打导桩,吊车配合人工安放并固定导架(见图2),然后采用1台吊车吊H桩入导架,待每组(6或7根)H桩安放在导架内后,吊车起吊振动锤开始跳打H桩(图3(a)),每组H桩全部沉至导架标高后撤离导架,开始第二步振沉H桩至设计标高,然后开始插打AZ桩一次至设计标高。

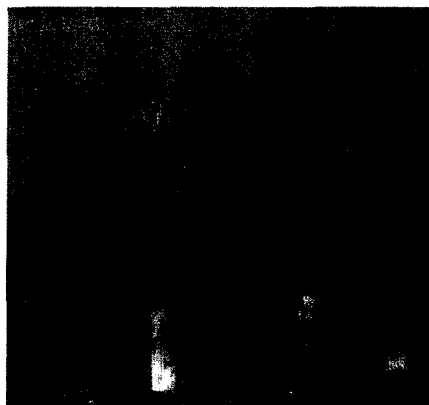


图2 沉桩导向架

5.2 “HZ”型钢板桩施工

根据钢板桩施工工序特点,选用一台250 t履带吊车配APE400-H型(H桩专用夹头)液压振动锤,在沉桩流水前方进行主桩(HZ975B型钢板桩)插打并送桩至设计标高施工。

施工方法:

(1)测量定位,安放主桩施打导架;

(2)250 t吊车捆吊主桩入导架;

(3)吊车吊APE400-H型振动锤夹主桩;

(4)启动振动锤液压夹头开关,夹头加紧主桩,夹紧后,微调主桩桩位;

(5)确定桩位误差在容许范围后,启动振动锤,采用逐步加速的方式开始第一步振沉H型钢板桩;

(6)同样方法振沉第二根主桩,待1组完成后,拔导架;

(7)采用APE400振动锤二次夹主桩,启动振动锤将主桩振沉至设计标高。

5.3 采用螺旋钻扰动副桩外部土体

作用:采用螺旋钻扰动副桩外部土体(图4),可减小副桩侧摩阻力,增加副桩变形的可能性。

应注意的问题:(1)钻孔位置需位于副桩港池侧,且最好在副桩连接处。(2)钻孔深度不得超过码头前沿港池设计泥面标高。

5.4 “AZ”型钢板桩施工

1台150 t履带吊车配APE400-A型(AZ桩专用夹头)液



(a)



(b)

图 3 H 桩施工

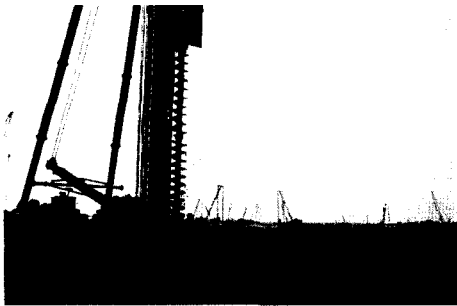


图 4 螺旋钻扰动副桩外部土体

压振动锤,在流水线后方进行辅桩(AZ18 10/10 型组合钢板桩)的插打施工。

施工方法:

(1)用 55 t 吊车采用捆桩的方式将辅桩吊立,用 150 t 打桩吊车吊 APE400-A 型液压振动锤将锤底导向槽口对准辅桩顶勿入夹头内。

(2)APE400-A 型液压振动锤夹头夹紧辅桩桩顶后,55 t 喂桩吊车脱钩。然后用 150 t 打桩吊车垂直吊起桩锤及辅桩,施工人员使用吊带或手拉葫芦调整辅桩桩尖尺寸,将副桩勿入相临主桩锁口中。

(3)辅桩桩尖锁口勿入相应主桩锁口时,注意调整辅桩

垂直度。使得锁口顺直后启动 APE400-A 型液压振动锤,采用逐步加速的方式缓慢振沉幅桩至设计标高,见图 5。



图 5 “AZ”型钢板桩施工

6 沉桩效果

通过对原有的 APE400 型振动锤夹头进行改造,有效地解决了本工程钢板桩的沉桩问题,全工程共共振沉钢板桩 875 套,其中“H”型主桩全部达到了设计标高,“AZ”型副桩 95%达到了设计标高,未达到标高的副桩也在设计规定的误差范围内。总体上说,沉桩效果良好,经检测,未发现一起钢板桩脱扣现象,统计结果见表 1。

表 1 沉桩结果统计

桩型	数量 /根	实测桩顶标高 /m	理论桩尖标高 /m	实测桩长 /m	较理论标高相差值 /m	备注
H 型	875	0.612~1.479	-28.0	29.03~29.12	-0.458~0.387	全部满足设计要求
AZ 型	876	0.938~1.955	-22.0	23.0~23.166	-1.083~0.953	全部满足设计要求

7 结语

(1)曹妃甸煤码头组合型钢板桩工程就目前我国的技术和设备能力来看,选择陆地沉桩施工比水上沉桩施工具有更大的优越性。

(2)曹妃甸煤码头大型组合钢板桩沉桩施工经摸索取得的最终施工工艺是可行的,而且在国内目前也是唯一的。

(3)建议在以后类似地质条件下类似结构钢板桩沉桩施工时,应首先选择振动锤施工。

参考文献:

[1] JTJ254-98,港口工程桩基规范[S].
[2] JTJ292-98,板桩码头设计与施工规范[S].
[3] 华东水利学院,重庆交通学院. 水运工程施工(港口与航道工程专业)[M]. 北京:人民交通出版社,1985.
[4] 刘宝河,王文兴,宋俊强,等. 曹妃甸煤码头起步工程大型组合钢板桩振动下沉工艺的创新与应用 [J]. 中国港湾建设,2008,(2):52-56.