

· 施 工 ·



深水板桩码头超长钢管-板桩结合墙 设计与施工技术

蔡开程, 宋成涛

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 结合某挖入式港池工程, 介绍深水整体卸荷式板桩结构的超长钢管-板桩结合墙设计及关键施工工艺。根据辅桩适应变形的能力, 对主桩垂直度允许偏差提出 0.4% 的要求。通过对导向架合理的设计和改造, 采用整桩起吊、振打结合、交错下沉的沉桩工艺等措施, 确保顺利沉桩。结果表明, 全部钢管-板桩结合墙都达到设计高程, 沉桩效果良好, 可为类似工程提供技术参考。

关键词: 超长钢管-板桩结合墙; C9 锁扣; 导向架; 振动沉桩; 施工工艺

中图分类号: U 656.112

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)08-0168-06

Design and construction technology of over-length steel tube-sheet pile wall in deep-water sheet pile wharf

CAI Kai-cheng, SONG Cheng-tao

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: Based on a dredged harbor basin project, this paper introduced the design and key construction technologies about the over-length steel tube-sheet pile wall in the integral deep-water unloading sheet-pile structure. According to the auxiliary pile's ability to adapt to the deformation, the requirement that the allowable deviation of main pile's verticality is no more than 0.4% was put forward. Through rational design and transformation to the guide frame, the pile-sinking technologies such as whole-pile lifting, vibrating-driving combination, and staggered sinking were adopted to ensure that the piles sink smoothly. The results show that all the steel tube-sheet pile walls achieve the design elevation and have a good pipe sinking effect. It can provide a technical reference for similar projects.

Keywords: over-length steel tube-sheet pile wall; C9 lock; guide frame; vibro-sinking pile; construction technology

近年来, 板桩码头的前墙采用地下连续墙结构已取得相关的经验, 板桩断面可以加大到足以承受较大弯矩的厚度; 各种组合式钢板桩的发展及板桩截面抵抗矩的大幅增加, 也使得板桩岸壁可承受愈来愈大的弯矩^[1]。各种板桩码头结构形式的革新, 为板桩码头建设向大型化、深水化方向发展创造了有利条件, 但针对整体卸荷式板桩码头这种新型结构形式, 其结构计算理论还不成熟。为进一步总结、提高、推广先进的建设技术,

本文结合某 EPC 项目挖入式港池工程实例, 介绍整体卸荷式板桩结构的钢管-板桩结合墙的设计控制要求及施工技术, 为今后类似工程结构的设计及施工提供依据和借鉴。

1 工程背景

1.1 工程概况

某挖入式港池位于长江入海口北支。港池长×宽为 150 m×110 m, 码头面高程为 4.80 m, 前沿

收稿日期: 2016-03-23

作者简介: 蔡开程 (1964—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程设计咨询工作。

底高程为-11.50 m。配备世界起吊质量第一的移动式门式起重机(下称宏海号),宏海号由 2 台 11 000 t 轨道式门式起重机并联组成,可以从陆上整体起吊 22 000 t 的半潜式石油钻井平台的下浮体、上部主甲板(或自升式石油钻井平台主甲板)下水,并进行下浮体和上部主甲板的拼装对接。

1.2 地质条件

本工程区域内钻探揭示,自地表至-17 m 高程主要为人工填土及粉细砂,-27.5~-17 m 高程为一层较厚的淤泥质粉质黏土,-40~-27.5 m 高程为粉质黏土,-40 m 以下为粉质黏土夹砂或粉细砂夹黏性土为主,可作为本工程基础结构的桩端持力层。

1.3 工艺荷载

作用在本工程岸壁结构上的机械荷载为宏海号荷载,宏海号轨道中心距为 124.3 m,其满载时对基础的作用为:竖向最大荷载为 3 040 kN/m,横向最大荷载为 174.3 kN /m,纵向最大荷载

76.2 kN/m(与起重机行走方向相反)。

2 工程设计

2.1 结构形式选择

根据本工程的地质和工艺荷载特点,如何合理设计港池岸壁结构,使其在满足使用功能的基础上,达到受力合理、经济的要求,是本工程岸壁结构设计重点及难点。

宏海号轨道距港池前沿仅 7.15 m,若岸壁结构与轨道基础分离,前墙应设置拉锚系统,而宏海号轨道基础因承受较大的水平及竖向荷载,需设置较多的斜桩来抵抗水平力及竖向力,使得工程造价较高。因此将出运港池岸壁与宏海号的轨道基础做成整体的结构形式,该结构将承受较大的竖向和水平荷载。为减小出运港池岸壁结构的水平荷载,设计采用整体卸荷式板桩结构,卸荷式承台下桩基采用 $\phi 1\ 000$ PHC 桩,结构断面见图 1。

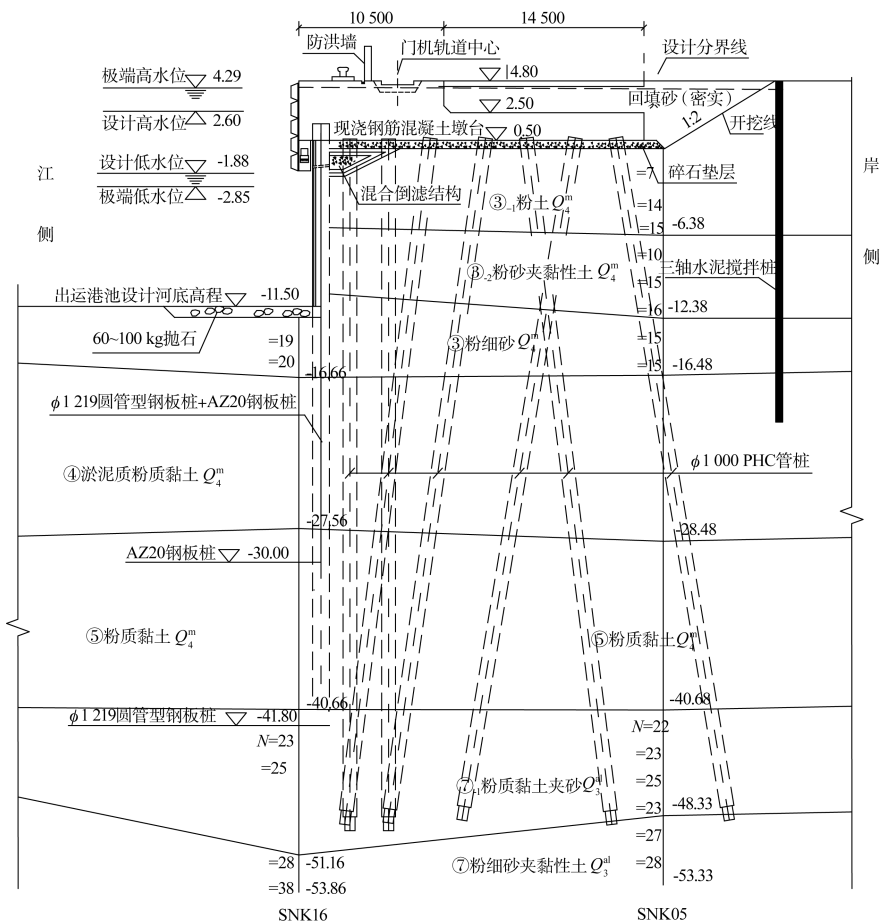


图 1 板桩结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

由于本工程地质主要为砂性土,施工时先沉PHC桩,再做前板桩墙,若前墙采用地下连续墙,施工工序复杂,施工工期较长,难以满足业主对本工程工期的要求。因此,前墙采用组合钢板桩结构,主桩作为主要受力结构,需具有较强的抗弯能力和较好的竖向承载力,辅桩需具有良好的传力和互锁性,这种组合结构具有刚度大、协调变形能力强等特点,可以较好地采用适应地质与荷载条件的施工工艺,施工工期短、质量易控。

若组合钢板桩采用U型结合墙或CAZ+AZ组合桩,主桩由两片U型或AZ型板桩焊接而成,根据现有工程经验,临水侧板桩采用进口钢板桩,背水侧采用国产钢板桩。对于刚度要求较大的深水板桩码头,采用该种形式的组合桩作为主桩,与钢管桩相比存在下列问题:整桩长度受限(根据对钢板桩供应商的了解,进口钢板桩单节最长为31m);前、后侧板桩焊接难度大,直线度不容易控制;同刚度的主桩费用较高等。故本工程组合钢板桩结构采用钢管-板桩结合墙。

钢管-板桩结合墙是由主桩(钢管桩)、辅桩(钢板桩)及连接锁扣(C9)3部分组成,具有如下特点:

1) 主桩刚度较大,承担主要的作用力;辅桩起到将钢管桩间土压力或水压力传递给主桩的作用。

2) 截面模量大、抗弯能力强,可以根据工程实际需要,通过调整钢管桩管径和壁厚,设计出经济合理的组合截面。

3) AZ板桩锁扣与C9锁理论上允许有 $\pm 5^\circ$ 的转角,系统的开合度允许有150mm左右的调整区间,辅桩灵活的宽度和角度调节功能,能够较好地适应钢管桩制造和沉桩偏差。

2.2 钢管-板桩结合墙结构设计

根据《海港总平面设计规范》^[2]、《海港水文规范》^[3]的相关规定及工程附近多年实测潮位资料,结合本工程设计代表产品的尺寸,计算得出本工程设计高水位为4.29m、设计低水位为-1.88m、极端低水位为-2.85m,设计河底高程为-11.5m,

码头面高程为4.80m,上部结构承台底高程为0.5m。由于本工程区域上部地层为透水性强的砂层,地下常水位在1.0m左右,为减小板桩墙后的剩余水压力,设计在前板桩墙(辅桩)-1.5m高程处设置排水孔。

本工程板桩墙前、后高差达16.3m,且地质土层的中部有较厚的一层淤泥质粉质黏土,因此,板桩墙刚度需满足深水码头较大的抗弯能力要求。钢管-板桩结合墙的主桩采用 $\phi 1\ 219$ 钢管桩,为主要受力结构,具有较强的抗弯能力和较好的竖向承载能力;AZ20钢板桩为辅桩,具有良好的传力、互锁和适应变形的能力,结构见图2。根据构造要求,主桩顶高程为1.7m,辅桩顶高程为1.0m。

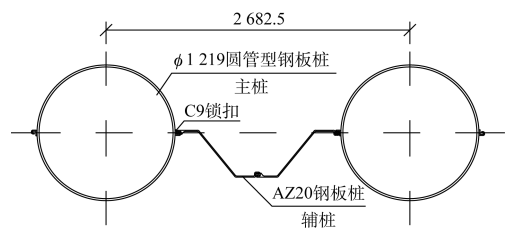


图2 钢管-板桩结合墙结构(单位: mm)

2.2.1 主桩设计

因主桩既要承受上部结构传递的工艺荷载,又要承受水平土压力,因此确定主桩长度时需考虑以下几方面的因素:

1) 主桩入土深度需满足《板桩码头设计与施工规范》^[4]中踢脚稳定要求:

$$\gamma_0 [\sum \gamma_G M_G + \gamma_{Q1} M_{Q1} + \psi (\gamma_{Q2} M_{Q2} + \gamma_{Q3} M_{Q3} + \dots)] \leq \frac{M_R}{\gamma_{RC}} \quad (1)$$

2) 主桩入土深度需满足《港口工程桩基规范》^[5]中弹性长桩要求:

$$t \geq 4T \quad (2)$$

3) 主桩入土深度需满足《港口工程桩基规范》^[5]中关于“打入桩桩端进入持力层(中等密实的砂土)不小于1.5倍的桩径”的要求。

综合考虑上述因素,确定主桩长度为43.5m。

2.2.2 辅桩设计

根据设计采用的主桩及辅桩的参数,辅桩的

刚度仅为钢管-板桩结合墙刚度的5%,其作用为将主桩之间土拱范围内的土压力通过锁扣传递给主桩,其承担的土压力也明显小于主桩所承担的土压力,因此辅桩长度满足以下几点要求即可:

1) 辅桩的入土深度需满足板桩墙后主动土压力+剩余水压力+超载土压力(简称主动土压力)强度与板桩墙前被动土压力强度相等的点;2) 在不考虑主桩的抗剪切情况下,辅桩入土深度需满足整体稳定要求;3) 参照《基坑工程设计手册》^[6]相关规定,辅桩实际所需深度,需将上述计算求得入土深度增加15%,以确保辅桩的稳定。为确保沉桩质量,综合以上因素确定辅桩的最大长度为31 m。

3 沉桩控制要求

本工程钢管-板桩结合墙由 $\phi 1\ 219$ 钢管桩与AZ20钢板桩通过一个C9锁扣连接而成。主桩的C9锁扣为辅桩下沉的导轨,若主桩垂直度控制不佳,将造成其相邻锁扣间距过大或过小,超过钢板桩自由开合能力(约150 mm),可能发生脱锁,最终造成钢管-板桩结合墙漏砂,严重威胁结构安全。

主桩长度为43.5 m,其上C9锁扣的长度31 m,根据《水运工程质量检验标准》^[7]中的主桩沿轴线方向的垂直度标准0.8%计算,单桩锁扣段主桩偏差将达248 mm,远远超过辅桩自身变形适应的范围,因此,应采取控制措施,降低主桩垂直度偏差。

根据辅桩锁扣间的理论开合度150 mm,并适度考虑板桩自身变形的适应性,经与板桩厂家多次研讨,在确保辅桩安全施工的前提下,确定辅桩适应变形能力为180 mm,即相邻两根主桩的竖直方向的间距偏差应小于180 mm,考虑施工时两根主桩倾斜方向相反,设计提出主桩的垂直度应控制在0.4%以内的控制要求,见表1。

表1 主桩规范偏差允许值与设计控制偏差值

| 方向 | 规范允许偏差/% | 控制允许偏差/% |
|-----------|----------|----------|
| 垂直板桩墙轴线方向 | 1.0 | 0.4 |
| 沿板桩墙轴线方向 | 0.8 | 0.3 |

4 控制措施

本工程所采用的钢管-板桩结合墙的长度在国内尚属首例,其施工难度大,主桩的垂直度由多个因素决定,主要为制桩的直线度及沉桩的垂直度两个因素。

4.1 施工工艺

钢板桩的沉桩方法有振动沉桩法和桩架沉桩法。由于本工程主桩长43.5 m、辅桩长31 m,桩基的长细比较大,若采用振动沉桩,振插深度较大,后期振沉锁扣间的摩擦力较大,容易造成锁扣的熔化破坏;若采用桩架沉桩,现有陆地打桩机的桩架高度无法满足整桩沉桩要求,需采用分节施工,且接桩焊接质量难以保证,特别是锁扣在对接处的直线度难以保证,若锁扣在接口处出现错位,辅桩无法插入。另外,应采取合适的打桩顺序,以减小累计误差。故本工程采用整桩起吊、振打结合、交错下沉的工艺(主桩5根1组1循环,先沉主桩后沉辅桩的方式)进行施工,见图3。

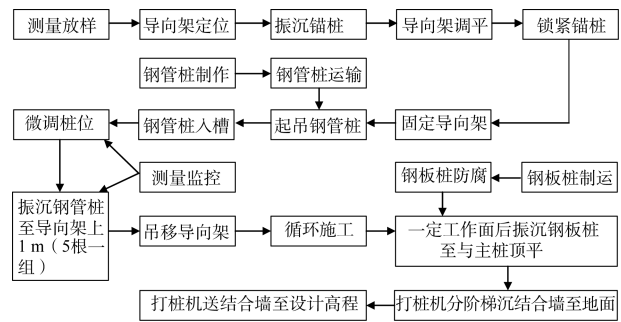


图3 施工工艺流程

4.2 导向架设计及制作

主桩单根最大长度达43.5 m,其上C9锁扣长度为31 m,为确保沉桩精度,需制作大型导向架加以限位。导向架设计及制作过程中需考虑以下因素:

- 1) 主桩起吊就位后,需脱钩换锤,故导向架高度需满足主桩自稳需要;
- 2) 施工导梁的平整度无法满足导向架平整度要求,导向架初步定位后需二次调整水平;
- 3) 在主桩插入后,无法保证各主桩的准确位置,需要二次定位微调。

针对上述要求，导向架设计采用桁架结构，根据主桩上无锁扣段长度确定导向架高度为13 m，根据施工过程中的稳定性要求，确定导向架横向宽度11 m、长度13.5 m。导向架设4根锚桩作为限位桩，一次可振沉5根主桩(图4)。在导向架的一端设置开口的定位装置，方便在导向架移位时，将已沉主桩套进来，增加导向架的稳定性和桩基定位的精确度。

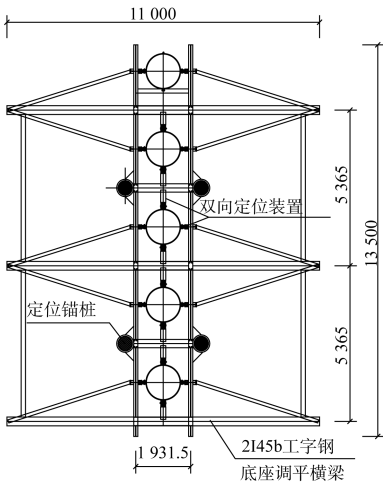


图4 导向架平面图 (单位: mm)

在导向架的两端及中间位置设置底座调平横梁并设螺旋千斤顶，通过旋转螺旋千斤顶调整导向架的水平，水平精度为5 mm。

导向架桩位定位系统采用双层双向定位轮(图5)，上下层间距12 m，可双向调节伸缩量，双向调节精度为20 mm，以确保桩位的准确性。

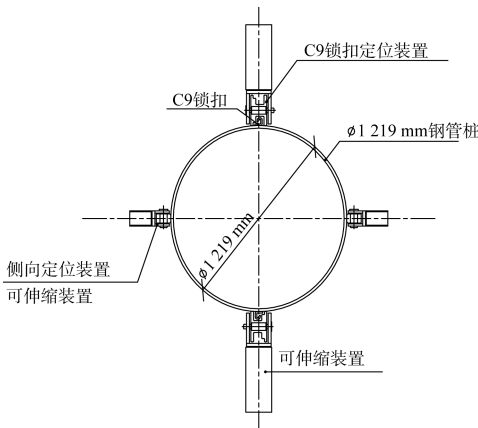


图5 导向架双向定位装置

4.3 施工过程控制措施

1) 主桩的振沉。

在入土初期垂直度控制尤为重要，沉桩时慢慢下沉，下沉过程中实时观测，及时调整导向架限位装置，确保主桩垂直度满足设计要求，直至将主桩沉至距地面14 m左右。整个过程中，在垂直于桩基前进方向与沿桩基前进方向钢管桩的中心线上，各架设一台经纬仪进行实时垂直度监测。

2) 振插辅桩。

在已沉主桩的顶部设有安全的简易工作平台，辅桩施工前，先测量已沉主桩的垂直度、偏位及两主桩锁扣之间的相对距离。为便于板桩锁扣快速与主桩锁扣对齐，根据已沉主桩锁扣之间的距离，调整辅桩宽度，并在辅桩锁扣底端开剖口、打磨。在辅桩插入时，采用人工辅助先完成一侧锁扣对位入槽，然后再进行另一侧锁扣对位，如辅桩宽度与主桩顶部间距不一致，可以通过设于辅桩下端的手拉葫芦装置使钢板桩顺利对位。辅桩下沉过程需适应相邻主桩锁扣位置变化，振沉期间锁扣间挤压会摩擦产生高温，为防止锁扣熔化，施工时对锁扣部位喷淋冷却水降温。

3) 锤击沉桩。

第二阶段采用锤击沉桩，此时管桩结合墙已失去导向架限制，在较大锤击能量下沉过程中，易发生误差累积，影响沉桩质量。为减小累计误差和辅桩随主桩下沉，确保沉桩质量，锤击沉桩采用先沉辅桩、再沉主桩的对称跳跃式沉桩方式，分两次沉桩至地面，然后再一次性送桩至设计高程(送桩前制作专用送桩杆)。

由于辅桩的刚度较小，柴油锤爆发力较大，在沉桩过程中发现，锤击下沉1 m左右的时候，辅桩顶部出现卷板现象，随即停止沉桩。经商定，决定在钢板桩顶部采用钢板加强，改善桩头受力条件，加强后，将辅桩沉至设计高程，未出现异常情况。

5 实施效果

在取得较为稳定可靠的沉桩经验后, 后续工程沉桩较为顺利。本工程累计完成 170 组钢管-板桩结合墙, 全部沉至设计高程。出运港池开挖后观察, 钢管-板桩结合墙前沿线顺直、钢板桩锁口紧密, 未发生脱锁现象; 钢板桩完成变形后, 锁扣间咬合紧密, 几乎不透水。根据工程沉桩记录, 主桩沉桩垂直度偏差 $< 0.3\%$ 的共 164 根, 占 96.4% ; $0.3\% \sim 0.4\%$ 的共 6 根, 占 3.5% , 较好地达到设计要求。

6 结语

1) 本工程采用的整体卸荷式板桩码头结构形式, 结构受力状况合理, 是一种适应深水及大型荷载作用下的新型板桩码头结构形式。

2) 本工程采用的 $\phi 1\ 219\text{-AZ}20$ 钢管-板桩结合墙, 主桩最长 43.5 m、辅桩最长 31 m, 能满足深水板桩码头较大的抗弯能力要求, 并且具备较好的可实施性。

3) 该种组合长度的钢管-板桩结合墙, 对施工控制精度要求较高、施工难度较大, 在国内尚无先例。本工程所采用的整桩起吊、振打结合、交错下沉的沉桩工艺, 第 1 阶段将桩振沉至地面上 14 m; 第 2 阶段采用打桩机冷击的方式复打至设计高程, 有效保护了锁扣不被破坏; 交错下沉利用了已沉主桩作为辅桩的导向, 完成辅桩打至设计高程。本工艺有效地结合了振动沉桩和锤

击沉桩的优点, 从而保证了本工程钢管-板桩结合墙的顺利沉桩。

通过工程沉桩质量检验, 充分说明本工程所采用的施工工艺是可行的, 可为后续同类工程施工提供宝贵经验。

参考文献:

- [1] 刘永绣. 板桩和地下墙码头的设计理论和方法[M]. 北京: 人民教育出版社, 2006: 1-2.
- [2] 中交水运规划设计院, 中交第一航务工程勘察设计院. JTJ 211—1999 海港总平面设计规范[S]. 中华人民共和国交通部. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [3] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. JTS 145-2—2013 海港水文规范[S]. 中华人民共和国交通运输部. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- [4] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. JTS 167-3—2009 板桩码头设计与施工规范[S]. 中华人民共和国交通运输部. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [5] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S]. 中华人民共和国交通运输部. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- [6] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 518.
- [7] 中交第一航务工程局有限公司, 福建省交通基本建设工程质量监督检测站. JTS 257—2008 水运工程质量检验标准[S]. 中华人民共和国交通运输部. 北京: 人民交通出版社, 2008.

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

中交广州航道局有限公司中标科威特国家石油公司 LNG 疏浚项目

7月17日, 中交广州航道局有限公司联合中国港湾中标科威特国家石油公司 LNG 疏浚项目, 合同额约 8 600 万美元, 工期为 19 个月。

这是继苏比亚大桥临时航道疏浚项目后, 广航局在科威特中标的第 2 个项目, 也是广航局在中东地区中标的首个综合性施工项目。此次成功中标, 拓展了广航局在中东地区的施工业务类型, 为开拓后续市场和新业务奠定了良好基础。

http://en.ccccltd.cn/pub/ccccltd/xwzx/zgsdt/201607/t20160728_49628.html (2016-07-28)