



全装配式高桩码头结构创新设计^{*}

盛佳珺, 陈海峰, 李 武, 程泽坤

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对传统高桩梁板码头预制构件数量多、运输量大, 施工现场模板、焊接工程众多、施工空窗期少的设计短板, 以连云港某液体散货泊位为例, 采用一种标准化、大构件、少节点的全装配式码头结构形式。考虑施工期安装工况, 桩基采用三点支撑布置形式, 上部结构根据功能分解为 3 个标准模块化预制构件, 即预制横梁及前后预制 π 形板。通过桩基与预制横梁以直代弯新型钢结构桩芯、预制横梁与预制 π 形板钢筋套筒连接等关键节点连接技术, 实现全装配式码头结构设计, 同步配备附属设施、监测方案等成套设计技术, 为全装配式码头在各类功能泊位中的推广应用提供借鉴。

关键词: 全装配式; 高桩码头; 预制横梁; 预制 π 形板; 节点设计; 钢结构靠船构件

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0059-06

Innovative design of fully prefabricated high-pile wharf structure

SHENG Jiajun, CHEN Haifeng, LI Wu, CHENG Zekun

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: The traditional high-pile beam-slab wharf has many design shortcomings, such as a large number of prefabricated members, large transportation volume, a tremendous amount of formwork and welding work on the construction site, and few construction gaps. To overcome them, this study adopts a standardized fully prefabricated wharf structure with large members and few joints, taking a liquid bulk cargo berth in the Port of Lianyungang as an example. Considering the installation conditions during the construction period, it adopts the three-point support layout for pile foundations and divides the superstructure into three standard modular prefabricated members according to their functions, namely, prefabricated beams and front and rear prefabricated π -shaped plates. As a result, it achieves the fully prefabricated wharf structure design by key joint connection technologies such as a new steel-structured pile core at the joint between pile foundations and prefabricated beams and the steel sleeve connection between prefabricated beams and prefabricated π -shaped plates. Additionally, this paper proposes the synchronous equipment of a complete set of design technologies such as ancillary facilities and monitoring schemes, which can provide a reference for the promotion and application of fully prefabricated wharf in various functional berths.

Keywords: fully prefabricated; high-pile wharf; prefabricated beam; prefabricated π -shaped plate; joint design; steel-structured berthing members

高桩梁板结构是常用的码头结构形式, 从设计到施工已形成较为成熟的流程模式及施工组织。常规采用等高连接、上下横梁结构为下部桩基与上部结构桩帽或横梁现浇连接, 上部

预制梁板安装后再分别进行节点浇筑连接, 整体性强。但缺点也较为明显, 预制构件数量多, 运输量大, 施工现场模板、焊接工程众多, 大量人力物力海上乘潮赶工, 施工空窗期

收稿日期: 2022-11-15

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFB2600700)

作者简介: 盛佳珺 (1983—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道工程设计。

少导致周期长, 各项因素增加了其建造成本^[1]。

针对传统高桩梁板结构设计短板, 本文以连云港港徐圩港区六港池 64[#]~65[#]液体散货泊位工程为例^[2], 介绍一种标准化、大构件、少节点的全装配式码头设计思路, 为类似工程提供参考借鉴。

1 工程概况

64[#]~65[#]液体散货泊位位于徐圩港区六港池底部(图 1), 建设 1 个 10 万吨级和 1 个 8 万吨级液体散货泊位(水工结构按 10 万吨级船舶设计)。码头总长度 648 m, 码头面高程 7.50 m, 前沿设计泥面高程-16.00 m。布置 1 座 588 m×25 m 平台, 南侧端部设置 2 座系缆墩(图 2)。



图 1 64[#]~65[#]液体散货泊位位置

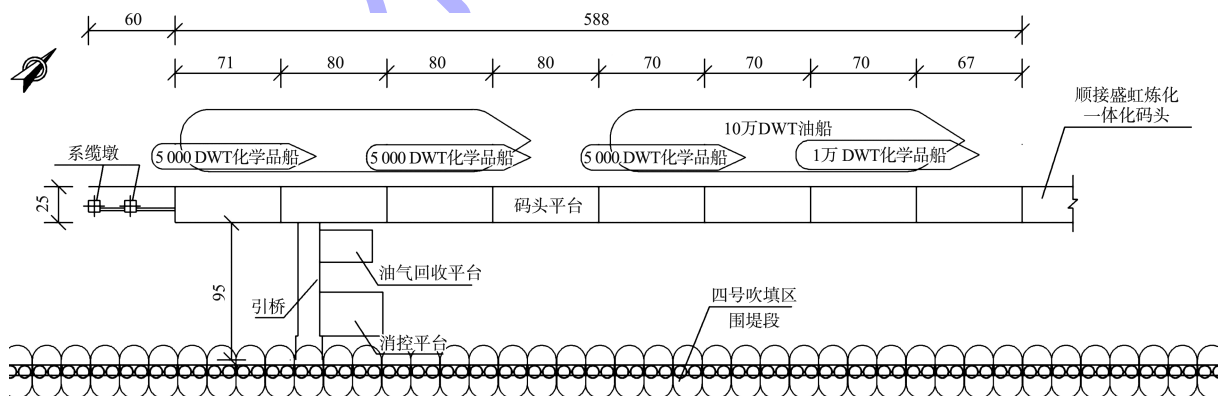


图 2 码头平面 (单位: m)

2 总体设计

全装配式高桩码头设计以高装配率、高标准、高适配度为首要标准, 与传统码头现浇横梁、现浇桩帽设计不同, 采用整体预制构件工艺, 利

用关键连接节点加强连接设计。施工能力是建造成本的主要控制因素, 应当综合考虑现有预制出运能力及现场构件运输、吊装设备设计。根据徐圩港区现状确定本工程单个构件的最大质量控制

横梁内 900 mm, 按铰接考虑。

传统现浇横梁采用钢抱箍、槽钢、底模系统等反吊于排架各个基桩, 桩基设计无需考虑上部结构施工期的工况, 但在全装配式码头设计中, 预制横梁为一次性吊运、安装, 支撑点直接利用下部桩基, 安装完成后进行连接节点浇筑, 不再另设钢抱箍围圈系统。码头桩基设计除考虑受力、斜度、角度因素, 桩位排布应尽可能使桩力、弯矩、应力等均分布以满足使用要求。因此, 对桩基施工偏位控制要求更高, 尤其纵向偏位要求高于横向偏位。

本工程利用两侧端部各一根直桩顶部搁置面作为第 1、2 安装点, 考虑到前后直桩净距为 21.5 m, 为避免整根预制横梁安放过程中产生过大跨中弯矩, 采用中间一组对叉桩桩芯混凝土结构顶面作为第 3 安装点, 形成三点支撑(图 5)。



图 5 桩基排布及安装支撑设置

3.2 预制横梁设计

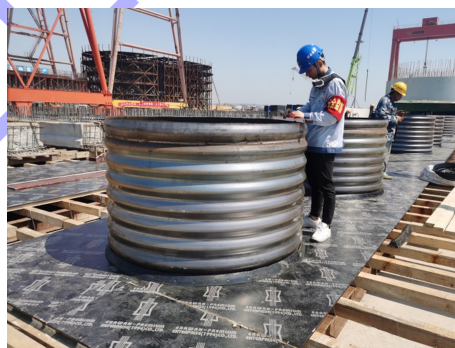
横梁单根通长预制, 矩形截面长 25.00 m、宽 2.60 m、高 1.40 m。对应单樁排架 6 根 $\phi 1\ 200$ mm 大管桩位置, 底部开设 6 个预留空腔作为桩基连接节点。考虑沉桩偏位及安装偏差, 按管桩四周预留 200 mm 控制, 高度方向考虑桩芯连接型钢锚固长度, 确定空腔孔径为 1 600 mm, 孔深根据桩芯钢结构伸入长度确定为 1 000 mm。预制横梁结构钢筋遇预留孔上弯, 预留孔为结构薄弱位置, 需加强配筋。

空腔位于横梁底部, 考虑到在空腔孔内侧壁做拉毛处理较为困难, 故空腔周边预埋波纹钢板, 强度高, 施工方便灵活, 既解决了横梁内置空腔模板支立拆除的难题, 又避免了后期大量的凿毛工作, 加强预制横梁与灌浆料连接性的同时也大大提高了横梁预制施工工效。横梁预制时, 预留

进浆孔与溢浆孔, 进浆孔从横梁顶部预埋至底部, 使灌浆料从上而下注入, 再由开孔底部充填至整个开孔区域, 更易保证其密实性; 溢浆孔设置于开孔上部, 待溢浆孔出浆则可判定充填完毕。另外, 预制横梁通过波纹管灌浆与桩基连接成为一体, 无需专门架设下横梁的模板及水上现浇工作(图 6)。



a) 预制横梁结构



b) 底部空腔波纹钢板

图 6 预制横梁与底部空腔内模

3.3 预制 π 形板设计

预制 π 形板为整体框架结构, 替代常规高桩码头的纵梁和面板结构, 由顶部面板、纵向肋梁、横向端板组成(图 7)。本工程预制 π 形板采用两种规格, 以后浇排水沟为界, 宽度分为海侧 14.70 m 和岸侧 9.90 m, 长 9.20 m, 总高 1.75 m。顶部面板高 0.35 m, 两种 π 形板均布置 3 根纵向预应力肋梁, 宽 0.60 m, 为避免面板与肋梁相交位置的应力集中, 该位置采用 0.20 m \times 0.20 m 倒角设计。同时考虑到内部脱模的便捷性, 肋梁断面呈上宽下窄形状, 上部比底部宽 50 mm。横向端板结构既加强预制框架结构的整体性, 又作为后序现浇

节点工序的模板。横向端板带有直径 700 mm 的人孔, 方便施工人员进入 π 形板内侧进行防腐涂层等作业。



图 7 预制 π 形板结构

4 关键节点设计

4.1 桩基与预制横梁节点

桩基与预制横梁节点为装配式码头结构的关键节点, 采用组合型钢结构锚固入预制横梁底部空腔, 灌浆后形成可靠节点。型钢结构桩芯采用以直代弯的设计取代传统顺桩向的桩芯混凝土结构(图 8)。从整体预制结构与传统现浇结构的连接受力机理分析, 由传统固接转变为铰接连接, 其连接面抗拉强度、抗剪强度应按等刚度设计, 若采用传统桩芯混凝土设计, 由于沉桩平面、扭角、斜度均会产生偏差, 桩身伸入桩帽 0.9 m, 横梁预留孔洞较大, 影响横梁结构设计。传统桩芯钢筋连接强度无法满足铰接连接面强度要求及铰接状态下码头整体位移的控制要求, 故每根基桩连接钢结构桩芯保留自桩顶以下 2.5 m 范围内桩芯钢筋结构, 中间选用 4 根 [32c 槽钢, 分别均匀电焊固定于桩芯内侧主筋, 伸入桩内不小于 1.8 m, 伸入开孔不小于 1.0 m, 且相对两块 [32c 槽钢间采用两块 [8 槽钢对焊, 同一截面内两个 [8 槽钢也焊接固定, 增加桩芯连接钢结构的刚度及抗剪强度。

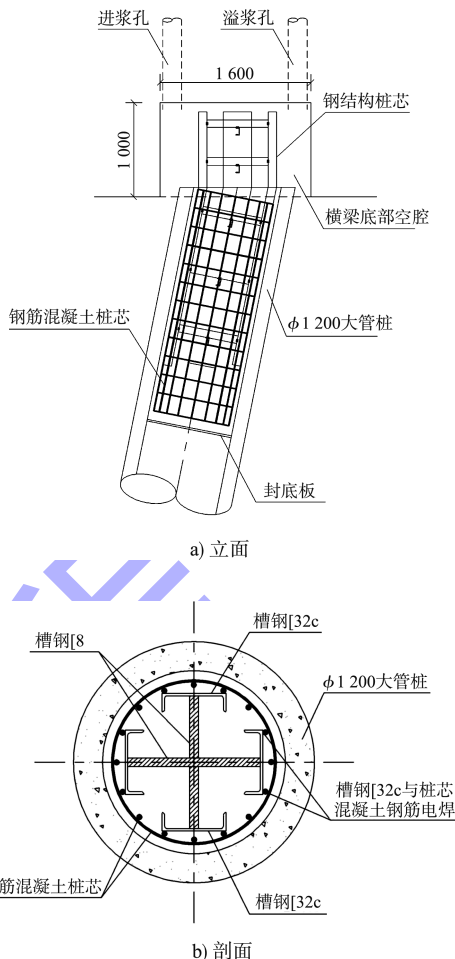


图 8 桩基与预制横梁节点 (单位: mm)

4.2 预制横梁与 π 形板的连接

码头排架底部为预制横梁, 其顶部两侧搁置预制 π 形板, 中间通过宽 800 mm 的连接节点使预制 π 形板与横梁连接成整体。横梁作为节点底模, π 形板的横向端板可作为节点侧模。预制构件强度大、稳定性好, 可充分承载混凝土浇筑荷载。预制横梁在节点位置预留矩形封闭箍筋至节点顶部, 同时 π 形板两侧顶部面板、纵向肋梁均有外伸 350 mm 的钢筋, 交错进行钢筋连接。节点施工空间有限, 下半部分进行套筒连接(图 9), 上部及顶部可进行钢筋绑扎, 最后浇筑成型^[4-6]。

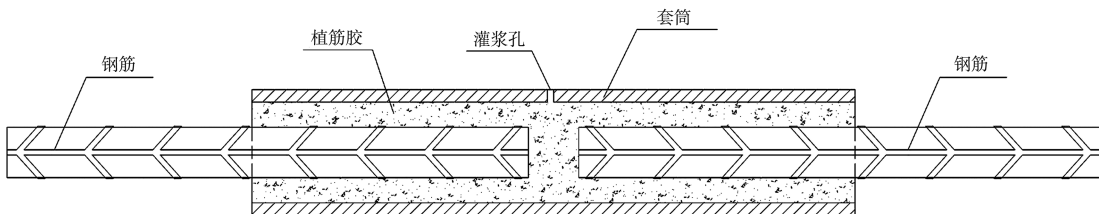


图 9 套筒连接

