

· 码头结构 ·



装配式模块化高桩码头设计方法 *

李 武¹, 鲍希琰²

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032; 2. 江苏省交通厅科技处, 南京 210001)

摘要: 针对装配式高桩码头结构设计理念与码头施工船机设备大型化发展趋势不一致的问题, 本文梳理装配式高桩码头结构研究现状, 提出了装配式模块化高桩码头设计方法, 从设计原则、结构形式、计算方法、构造措施及耐久性设计等5个方面, 详细论述装配式模块化高桩码头的设计过程, 以及设计中的关键因素。针对具体结构形式提出了节点连接需要验算的位置和内容, 以及构件在吊运过程中动力系数的取值。研究成果为装配式高桩码头设计提供了新思路, 可为类似工程设计提供借鉴。

关键词: 高桩码头; 装配式; 模块化; 设计方法

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0001-04

Design method of prefabricated modular for high pile wharf

LI Wu¹, BAO Xiyan²

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

2. Science and Technology Department of Jiangsu Provincial Department of Transportation, Nanjing 210001, China)

Abstract: Regarding the inconsistency between the structural design concept of the prefabricated high-piled wharf and the large-scale development trend of the prefabricated high-piled wharf, this paper combs the present situation of the structural research of the prefabricated high-piled wharf and puts forward the design methods of the prefabricated modular high-piled wharf. The design process is discussed in detail from five aspects: design principles, structural forms, calculation methods, structural measures and durability design of prefabricated modular high-piled wharf, and the key factors to be considered in the design. According to the specific structural form, the position and working conditions of the joint connection need to be checked, as well as the value of the dynamic coefficient of the component in the hoisting process. The research results provide a new idea for the design of prefabricated high-piled wharf, and can provide reference for similar engineering design.

Keywords: high-piled wharf; prefabricated structure; modularization; design method

随着水运行业快速发展, 船舶逐渐大型化, 配套码头等级逐年提高, 万吨级以上码头结构成为现代港口的主流配置。码头建设用船机设备由小吨位向大吨位发展, 过去用于码头建设的辅助木船、泡沫筏等简易水上交通船禁止使用, 安全生产要求提高。目前码头建设中使用的船机设备

均是金属船体, 起重船一般在300 t以上, 逐渐向千吨级靠拢。码头建设用船机设备技术的巨大进步也催生了码头设计理念的发展。本文结合高桩码头的特点以及近年高桩码头建设技术的发展, 开展了装配式高桩码头新的设计方法研究。

高桩梁板码头结构是三大主要码头结构形式

收稿日期: 2022-11-15

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFB2600700); 江苏省交通运输科技项目(2021Y18)

作者简介: 李武(1978—), 男, 博士后, 正高级工程师, 从事港口工程设计、管理、咨询工作。

之一, 装配化程度较高, 构件采用预制或部分预制, 水上拼装, 体积装配率为 60%左右。随着装配式结构的快速发展, 要求高桩码头结构^[1]体积装配率达 75%以上或全部预制。近年来, 专家学者^[2-8]不断研究装配式高桩码头结构的设计方法和计算模式, 发现节点是装配式设计施工的重点, 合理的节点设计减少了水上浇筑工程量, 达到施工速度快、建设质量高的目标。通过装配化将高桩码头结构分割成零散构件, 减少构件质量, 便于运输安装。本文研究装配式模块化高桩码头的应用技术, 在构件划分时, 将多功能集成于一个构件, 减少水上作业时间, 工厂预制件可降低生产能耗, 提高利用率, 响应国家“双碳”政策和绿色港口的建设需求。

传统高桩码头结构一般由桩基、现浇桩帽、预制纵横梁、预制加现浇叠合面板组成, 见图 1。传统设计方法首先根据使用需求和建设条件确定设计原则及结构形式; 其次根据经验或试算初步确定构件主尺度; 再结合荷载计算构件强度; 最后结合施工和整体验算结果采取相应构造措施。而装配式模块化高桩码头解决了构件标准化、减少现场浇筑量以及节点连接等问题。本文研究了装配式模块化高桩码头的设计原则、结构形式、计算方法、构造措施以及耐久性措施等设计方法。

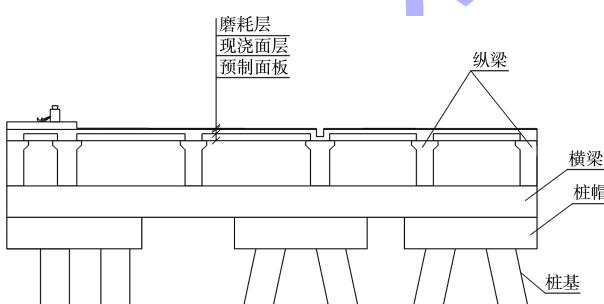


图 1 传统高桩码头结构断面

1 装配式模块化高桩码头设计原则

1) 全装配化原则。构件采用工厂制造、现场装配, 提高码头的装配化程度, 结合高桩码头自身结构特性, 实现构件的全装配。

2) 标准化原则。从高桩码头的泊位等级、结构形式、排架间距等方面考虑, 将构件类型、主尺度和力学性能等技术指标系列化、标准化。以“少规格、多组合”为原则, 采用标准化定型产品, 组合出非标准构件。

3) 模块化原则。标准构件尽量集成多功能, 将设备基础、排水沟、管线沟等辅助结构集成到标准构件上, 通过拼接实现整体功能。

4) 整体性原则。减少构件数量, 强化构件间连接, 形成整体效应, 使结构受力均匀, 在平面内均化荷载, 改变了传统梁传递荷载的形式。

5) 绿色低碳、节能、节材原则。参照 GB/T 50378—2006《绿色建筑评价标准》, 满足码头使用功能要求, 在码头全生命周期内实现节能、节水、节材、环保等各项技术指标。

2 装配式模块化高桩码头结构形式

装配式模块化高桩码头根据设计原则, 将上部结构集成, 形成不同的结构形式。可将横梁与桩帽集成为预制多腔横梁, 或将纵梁与面板集成为无底箱板构件, 具体形式见图 2。码头采用标准化设计, 拆分为桩基、预制多腔横梁、无底箱板构件和钢质靠船构件 4 种标准构件, 辅以必要的节点连接和现浇面层。构件全部工厂化预制, 施工现场以构件安装、节点连接为主。多腔横梁采用整根预制模式, 横梁下部预留桩基与空腔连接, 空腔的开孔尺度根据连接件锚固长度和沉桩偏位空间确定。无底箱板构件根据空间尺度采用多种规格。如板下部设置 3 根纵向肋板和 2 根横向肋板, 纵肋板代替纵梁, 横向肋板兼作节点现浇模板。

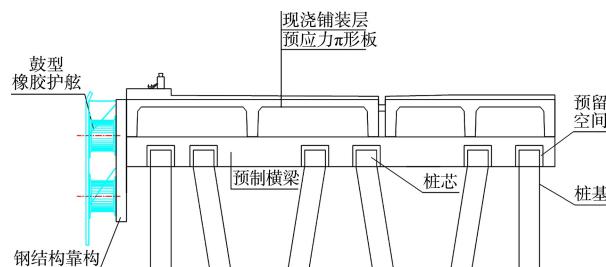


图 2 装配式模块化高桩码头断面

3 装配式模块化高桩码头计算方法

装配式模块化高桩码头采用有限元方法计算,或根据JTS 167—2018《码头结构设计规范》^[9]按横向平面排架计算。必要时采用与传统方法一致的有限元数值分析和平面简化计算,两者互补验证。装配式模块化高桩码头应注重节点和施工期构件的受力验算。根据节点连接条件和受力状态确定验算截面位置和外部边界条件,并根据JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》^[10]进行检验。桩基与预制多腔横梁连接节点的验算包括:桩基深入空腔内抗拔力验算、空腔内桩基附近连接材料局部抗压验算、空腔内连接材料与预制多腔横梁抗拔验算、空腔内连接材料外表面局部抗压验算及空腔内连接材料抗拉验算等,节点连接见图3。

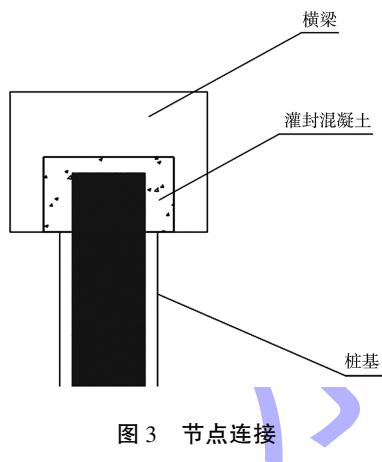
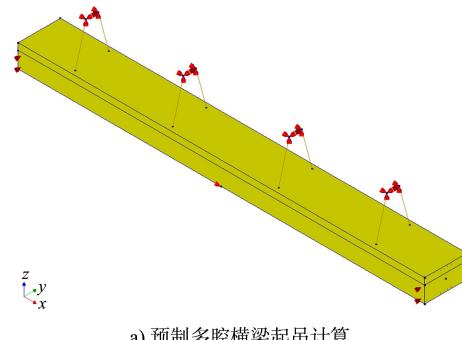


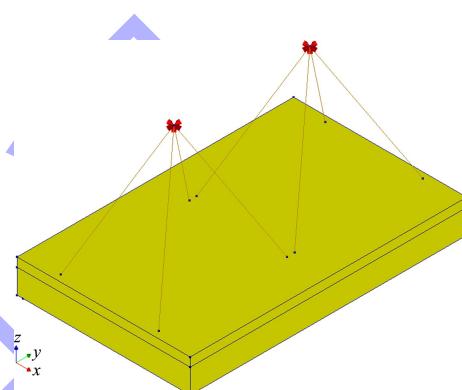
图3 节点连接

装配式模块化高桩码头的构件尺寸和质量大,与常规预制构件相比较特殊,如预制多腔横梁和无底箱板(图4)在施工期构件应进行翻转、吊运和安装过程中的结构强度验算、结构的抗力取值应考虑施工期混凝土浇筑龄期和养护条件等。构件在短暂设计状况下的施工验算应根据规范进行,并考虑动力系数;构件在运输、吊运时,动力系数宜取1.3;当构件在翻转及安装过程中就位、临时固定时,动力系数取1.2;构件进行脱模验算时,等效静力荷载标准值应取构件自身重力标准值乘以相应的动力系数,并与脱模吸附力之和,且不宜小于构件自身重力标准值的1.5倍;脱模

吸附力应根据标准构件及其模具的实际情况取用,不宜小于1.5 kPa。



a) 预制多腔横梁起吊计算



b) 无底箱板起吊计算

图4 有限元模型

4 装配式模块化高桩码头构造措施

装配式模块化高桩码头的构造主要针对构件和节点进行处理。为提高预制多腔横梁的空腔与连接材料的咬合力,采用波纹管预制空腔内模,可兼做连接件使用;为方便拆模和配筋,无底箱板的纵向肋板设计成上大下小的倒梯形,横向肋板中间配筋降低含钢量;节点采用湿接头,连接材料强度等级不应低于预制构件混凝土强度等级,宜掺入适量膨胀剂;节点采用大直径、高强度的钢筋、钢棒或型钢材料连接;外轮廓尺寸应满足节点钢筋、型钢连接长度和施工作业空间的要求;当节点采用预留空腔连接时,空腔尺寸应满足结构受力及施工偏差要求,空腔内壁进行配筋或型钢加强,以满足施工期、使用期的结构安全;当有抗震要求时,应采用整体封闭箍,并加密节点处箍筋。

5 装配式模块化高桩码头耐久性设计

装配式模块化高桩码头的耐久性设计重点考虑构件和节点两部分。在预制期间重点考虑材料的选择和保护；所有裸露在空气中的构件都应做防腐处理，特别是施工期的裸露构件；预留空腔底部增设橡胶垫圈避免铁件直接裸露在表面；在构件保护层内增设塑料钢筋或碳纤维，增强混凝土抗裂性能，避免构件在吊运中开裂；构件之间的节点连接材料应掺入微膨胀剂，使得构件间的连接饱满充分，避免出现因后浇带材料收缩造成的空隙以及腐蚀因子侵入；当连接材料达到强度后，对节点裸露面进行防腐涂料喷涂，提高节点耐久性。

6 结论

1) 装配式模块化高桩码头设计需整体考虑施工对结构构件的影响，保证整体的安装结构力学性能不降低，保证节点强度不低于结构强度和构件强度。

2) 构件设计形式单一，功能尽量集中，质量均衡，加强薄弱截面构造，充分考虑运输、安装过程中构件局部强度验算，以及构件安装前的防腐处理。

3) 针对插槽式连接形式，提出节点连接需要验算的位置和内容，以及验算的方法，结合施工工艺，给出构件在吊运过程中动力系数的取值。

4) 针对插槽式连接形式，提出采用波纹管替

代预留孔洞内模，解决新老混凝土连接问题，采用直接裸露的免铁件燕尾止浆条提高防腐性能。

参考文献：

- [1] 江义,程泽坤,吴志良,等.装配式桩基码头设计建造应用现状与展望[J].水运工程,2018(6):103-109.
- [2] 程都.整浇装配式高桩码头结构设计方法研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.
- [3] 刘硕.整浇装配式高桩码头有限元分析及设计方法研究[D].武汉:武汉理工大学,2012.
- [4] 郝芹.梁板式高桩码头三维数值计算分析[J].水运工程,2008(11):112-115.
- [5] 季大闰,何晓宇.高桩梁板式码头结构横梁内力影响分析[J].水运工程,2011(11):158-163.
- [6] 黄涛,周杰鑫,马平.空间有限元模型和平面模型在高桩码头结构计算中的比较分析[J].中国水运(上半月),2013(1):60-61.
- [7] 王晓丽,陈新,孙世伟.大水位差高桩梁板码头系靠船结构及前排桩基选型[J].中国港湾建设,2018,38(4):38-42.
- [8] 杨旭东,崔磊.通州湾一、二港池码头结构选型分析[J].中国港湾建设,2017,37(4):44-49.
- [9] 中交第一航务工程勘测设计院有限公司,中交第三航务工程勘测设计院有限公司,中交第四航务工程局有限公司.JTS 167—2018:码头结构设计规范[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [10] 中交水运规划设计院有限公司.JTS 151—2011:水运工程混凝土结构设计规范[S].北京:人民交通出版社,2011.

(本文编辑 赵娟)

www.cjtu.edu.cn

著作权授权声明

本刊已许可《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司、北京世纪超星信息技术发展有限责任公司以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含上述公司著作权使用费，所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

《水运工程》编辑部