



装配式技术在连云港港徐圩港区 码头工程中的应用

徐俊, 唐洲

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对常规技术方案下高桩码头建设标准化程度低、现场混凝土浇筑工作量大、船机配备多、人员安全风险高等问题, 本文结合连云港港徐圩港区多个码头工程的设计及建设情况, 研究装配式桩帽、装配式横梁及模块化装配式技术在高桩码头结构建设过程的应用技术及应用效果, 结果表明: 码头工程装配式技术方案应结合工程区自然条件、泊位使用要求、主体结构尺度、施工能力等综合确定, 并辅以必要的节点连接创新措施。装配式技术在徐圩港区的应用可为类似工程提供参考借鉴。

关键词: 高桩码头; 装配式桩帽; 装配式横梁; 模块化构件

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0011-06

Application of technology of prefabricated wharf project in Xuwei Port Area of Lianyungang Port

XU Jun, TANG Zhou

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

Abstract: Regarding the problems such as low degree of standardization, large workload of concrete pouring, multiple ship and machine equipment, and high safety risk of construction crews during the building of high-piled wharf by using routine techniques, this paper combined with the design and construction of multiple wharf projects in Xuwei Port Area of Lianyungang Port. The application technology and effectiveness of prefabricated pile caps, prefabricated beams and modular components technologies used in high-piled wharf structures are studied. The results show that the prefabricated technical proposal for wharf engineering should be determined by combining the natural conditions of the project area, the requirements of berth use, the size of the main structure and the construction capacity, and should be supplemented by the necessary innovative measures of node connection. The application of prefabricated technology in Xuwei Port Area can provide references for similar projects.

Keywords: high-piled wharf; prefabricated pile cap; prefabricated beam; modular component

《国家中长期科学和技术发展规划纲要》^[1]以及《“十三五”国家科技创新规划》^[2]中指出: 应加强绿色建筑设计技术和装配式建筑研究。近年来, 尤其是2021年作为“十四五”开局之年, 交通运输部与科学技术部联合印发《关于科技创新驱动加快建设交通强国的意见》^[3], 明确提出: 促

进交通建筑业高质量发展, 推动交通基础设施装配化、工业化、标准化和数字化发展, 促进智慧工地技术研发与应用, 加快建筑信息模型(BIM)技术自主创新应用, 提升预制构件的标准化水平, 支持工程新材料的产业发展。

目前, 建设工程装配式技术主要应用于桥梁

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 徐俊 (1979—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事港口、航道工程设计及项目管理工作。

及房建领域，并且与 BIM 等技术相融合，张悦等^[4]提出装配式项目应用 BIM 技术的问题及对策；于明^[5]总结了装配式技术和管理一体化的建设成套体系。码头工程由于特殊的水上建设环境，大多采用常规的大体积现浇结构，主要构件部分采用预制安装。与桥梁、民用建筑相比，码头工程建设的标准化、装配化水平及整体功效偏低。装配式码头相关技术研究目前主要集中在模式构思与实验室研究阶段。江义等^[6]通过对实际工程案例的装配率统计，提出构件拆分预制后进行节点连接的技术理念。钟扬等^[7]建立了钢梁与钢管桩模型，通过试验方式研究装配式节点后灌浆的压弯性能。本文结合连云港港徐圩港区多个码头工程的建设情况，探索了装配式桩帽、装配式横梁及模块化装配式技术，为类似工程应用提供参考借鉴。

1 徐圩港区概况

1.1 自然条件

港区气候良好、浪小流缓、地质情况相对简单，为该地区码头工程的装配式设计及建设创造了有利条件。

1) 根据连云港港徐圩港区自然条件整体情况，高桩梁板式码头的桩基可进入发育良好的持力层，适合本地区的码头结构，其各个构件自身重力相对于重力式结构较轻，采用预制装配式方案具备极强的可行性。

2) 工程区平均风速较小，大风日数较少，50 a 一遇波浪波高基本维持在 2.5 m 以内，施工期的波浪更小，对船机的锚泊稳定影响较小，适合吊运安装作业量大的预制装配式结构。风况对预制件吊运的干扰也较小，除台风天等其他恶劣天气外均可进行水上装配式施工作业。

3) 连云港地区冬季寒冷，现浇混凝土初凝及达到强度时间较长，不宜进行现浇作业，因此预制装配式结构在连云港地区的应用迫切。

4) 工程区水位差较大，上部结构（横梁或桩

帽）底高程不宜过高，现场浇筑混凝土需要赶低水位，有效施工窗口期较短，因此在浪溅区与水位变动区采用预制装配式构件可有效避免此现象。

1.2 施工配套条件

适用于徐圩港区的预制厂主要有徐圩预制厂及灌南预制厂。徐圩预制厂位于徐圩港区内，出运条件便利，为原连云港港徐圩港区防波堤桶式基础结构的生产基地，配备有完善的搅拌站、钢筋生产棚、砂石料堆场、出运码头、变电所和生活宿舍楼等。灌南预制厂生产生活设备设施齐全，龙门吊、横移车等起重转运设备配置齐全，距离徐圩港区现场约 40 km，可与徐圩预制厂分工配合完成预制构件的制作。

2 装配式技术应用

2.1 装配式桩帽的应用

2.1.1 装配式桩帽方案

码头工程中的桩帽位于水位变动区及浪溅区附近，多为现浇结构。设置桩帽可有效避免整体式现浇横梁大型模板的支立，同时可调节降低桩基偏位对上部结构的影响，作为纵横梁系可靠的安装平台。常规的现浇桩帽需在承重钢抱箍围囹系统上铺设底模、架立侧模，并根据潮位变动情况及施工能力进行分层浇筑。上层混凝土需待下层混凝土强度增至 80% 后方可浇筑，工期较长，且一旦模板内混凝土受水淹，则严重影响工程质量。

装配式桩帽主要将传统现浇桩帽转换为预制桩帽，通过吊运安装施工使码头上下部结构可靠连接，避免混凝土赶潮水作业及分层浇筑工期拖沓的问题。装配式桩帽结构的设计原则基本同现浇结构，区别在于桩帽底部根据桩位布置进行开孔，并根据沉桩偏位等适当扩大。桩基进入开孔 100 mm，并采用“斜调直”形钢替代钢筋笼伸入开孔内，再灌浆锚固。整体预制桩帽内钢筋遇预留孔上弯，预留孔侧增加环形加强筋，预制桩帽预留进浆孔及溢浆孔，灌浆料由上而下注入，再

从开孔底部充填至整个开孔区域,保证其密实性,溢浆孔设置于开孔上部,待溢浆孔出浆可判定充填完毕。安装期为确保桩帽安放支撑稳定,预制时每个开孔宽度方向需预埋工字钢的钢扁担,见图1。

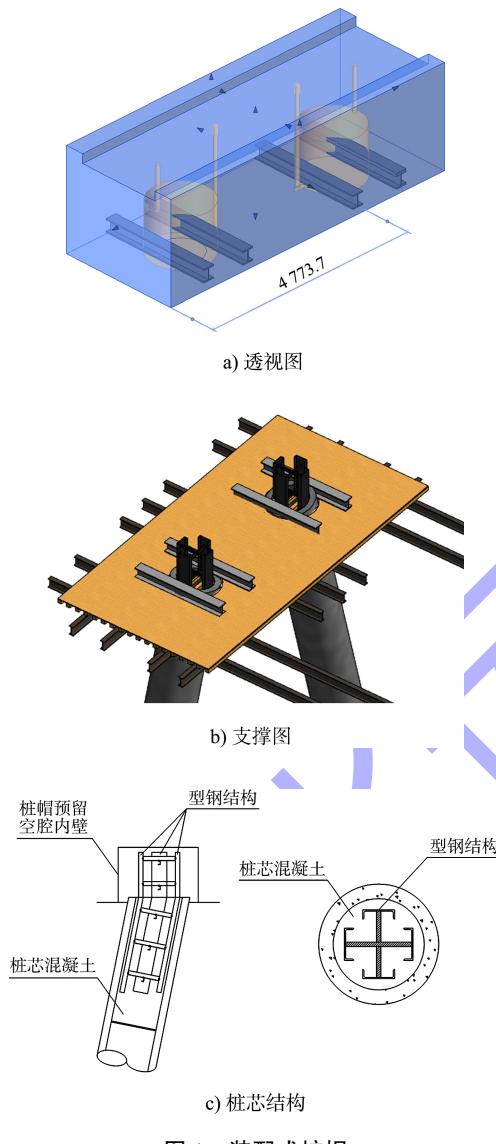


图1 装配式桩帽

2.1.2 装配式桩帽施工及功效

装配式桩帽采用工厂预制,侧模采用定型钢模板,内腔模板采用可拆卸式结构。为提高装配式桩帽与桩帽内部后浇带的连接强度及可靠性,在浇筑前预制桩帽内腔模板喷洒缓凝剂,有利于后浇混凝土与预制构件的结合。

现场吊装时,预先在底板侧放好安装边线,安装时统一协调指挥起重船调整船位、大臂及升

降主钩,4角施工人员顶推配合精确调整桩帽位置,见图2。



图2 装配式桩帽试点施工

桩帽安装完成后,采用掺加微膨胀剂的细石混凝土浇筑内腔灌浆料。泵管插入桩帽上预埋的波纹管灌浆孔,在2个位置处加强振捣,保证混凝土密实。

2020年9月5日,在盛虹炼化配套码头工程中成功试验施工,8 h内完成2个桩帽的安装及连接工作,达到了预期效果。装配式桩帽的顺利实施为后续开展整体装配式高桩码头的设计及施工提供了宝贵的经验。

2.2 装配式横梁的应用

2.2.1 装配式横梁方案

码头工程中横梁通常采用整根现浇或拆成多段预制梁后现场现浇节点拼装而成。其中整体现浇式的施工工序多,受水上风浪流条件及温度影响大;当多段预制横梁拼接时,为确保结构整体性,横梁主筋在上桩帽中全部电焊,节点连接处焊接工作量大,而桩帽顶面施工作业面小,加大了施工难度。因此,提出整体预制装配式横梁的方案,目标从2段合并为1段,进而推广至“三合一”“多合一”的实施。

徐圩港区46#~47#及48#~49#泊位工程采用桩帽节点加纵横梁等高连接的形式,其横梁采用装配化技术方案。装配式横梁整根一次性预制,安装于前、中、后3个桩帽上。横梁结构设计原则基本同现浇结构,区别在于桩帽的连

接方式。具体技术方案为：横梁上预留若干上下贯通的竖向孔与桩帽连接，预留孔尺寸满足安装偏差及结构连接要求。整体预制横梁内钢筋遇预留孔上弯，预留孔侧设置加强筋，开孔内侧壁做拉毛处理，增加预制结构与灌浆料的连接性。桩帽施工时，预埋竖直向上的工字钢，插入横梁预留孔内，灌浆料从上而下注入预留孔内振捣密实，使桩帽与横梁有效连接。横梁与纵梁交接处侧面预留钢筋与纵梁外伸钢筋连接。

46[#]~47[#]泊位采用整体预制装配式横梁方案，结合现场施工单位及监理单位的意见，进行“掐头去尾”的保守化处理，将前后 2 个桩帽节点上的预制横梁调整为现浇制作，横梁预制部分横跨中桩帽搁置在前后桩帽上，有效避免了横梁底模的架设，提高了建设功效，见图 3。

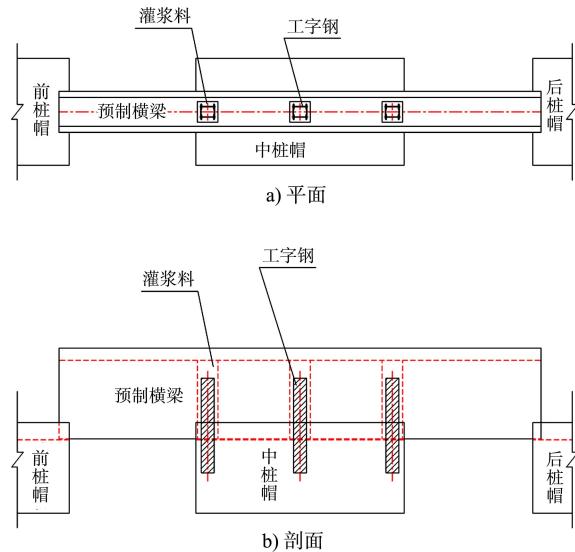


图 3 46[#]~47[#]泊位预制横梁结构

在 46[#]~47[#]泊位装配式横梁成功实施的基础上，48[#]~49[#]泊位加长预制横梁长度以及增加预留连接孔的数量，进一步推进码头单幅排架横梁的整根预制，见图 4。

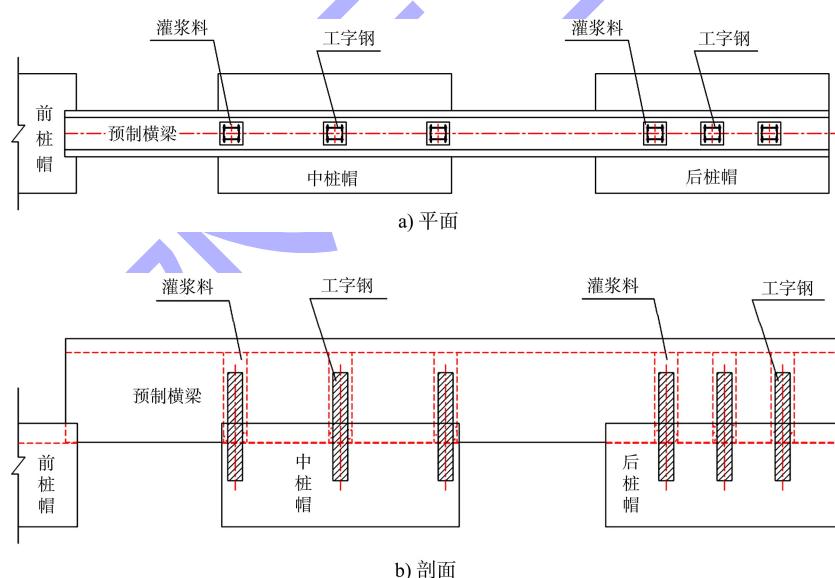


图 4 48[#]~49[#]泊位预制横梁结构

2.2.2 装配式横梁施工及功效

横梁采用工厂预制，侧模采用定型钢模板，内腔模板采用可拆卸式结构。为提高装配式横梁与桩帽连接的强度及可靠性，桩帽预埋外伸工字钢处的顶高程进行局部降低处理，露出该处桩帽顶面的纵向钢筋，使孔洞内的灌浆料同步包裹桩帽钢筋，更有利于桩帽、横梁及后浇带三者的结合。

2020 年 1 月 25 日顺利完成了 5 根预制横梁安装，单根横梁从开始起吊到安装完成仅耗时 30 min，施工安装效率高，见图 5。

46[#]~47[#]泊位为连云港地区采用装配式预制横梁方案的高桩码头，整体预制装配式横梁的吊装快速、准确，为后续工程的推广应用奠定了良好的基础。



图5 装配式横梁现场施工

2.3 模块化装配式的应用

2.3.1 模块化装配式方案

装配式桩帽、装配式横梁在徐圩港区的成功试点及全面应用,为模块化装配式高桩码头的研究及应用奠定了理论和实践基础,也对港区其他码

头的设计及建设提出了更高的标准及要求。为有效解决徐圩港区64#~65#泊位现场施工环境恶劣复杂的问题,将该码头主体结构拆分为桩基、横梁、 π 形板3种模块构件,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,见图6。

结合64#~65#泊位的具体结构尺度,横梁采用整根预制模式,尺寸为25.0 m×2.6 m×1.4 m(长×宽×高)。横梁下部预留6个桩基安装连接空腔,桩基伸入预制桩帽100 mm,采用装配式桩帽方案的桩芯结构。横梁预留空腔考虑沉桩偏位等影响,开孔按直径φ1 600 mm、高度1 000 mm预留。空腔内侧壁预埋波纹钢板,增加构件与灌浆料连接的可靠性,三维模块化横梁结构见图7。

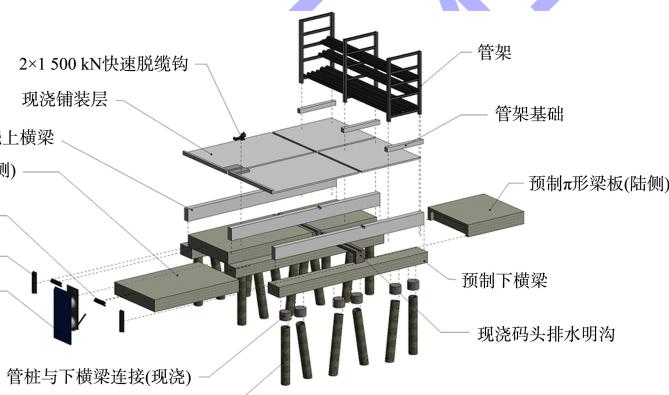


图6 64#~65#泊位码头构件模块拆分

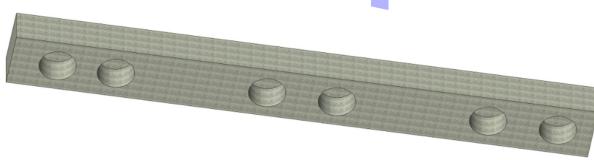
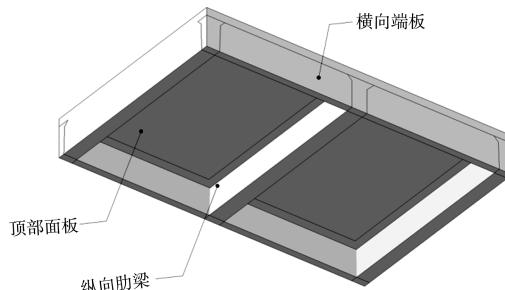


图7 模块化横梁结构

面板采用预制整体式 π 形板(常规预制面板+预制纵梁的组合预制构件)。板下部设置3根纵向肋板和2根横向肋板,横向肋板兼顾节点现浇模板作用,三维结构见图8。纵肋板厚600 mm,横肋板厚300 mm,顶板厚300 mm,上部现浇铺装层厚150~210 mm。根据起重船吊运距离与吊重的组合关系,码头两榀排架之间设置2块 π 形板,海侧的质量为237 t,岸侧的质量为198 t。

图8 模块化 π 形板结构

2.3.2 模块化装配式施工及功效

模块化横梁采用整体式钢模板,桩基位置采用“波纹钢管+封顶钢板”组合成的空腔钢结构作为侧模,分层浇筑混凝土。模块化 π 形板为无底封闭式结构,模板系统由“固定式内胎模+拆卸式

外侧模”组合而成。采用 250 t 固定扒杆式起重船起吊，并依托单侧限位法控制安装精度，见图 9。

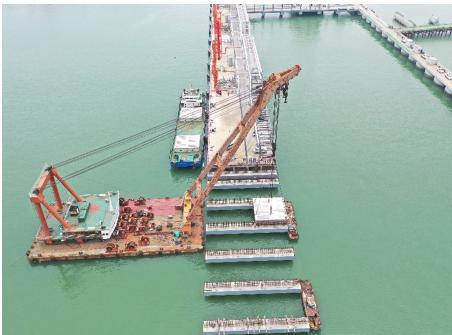


图 9 π 形板模块化吊装现场

整个工程的建设，码头主体结构合理分割为多个梁板集成的标准构件，每个构件工厂化预制生产，构件安装采用大型起重船和北斗定位技术，使 195 个预制模块有机组成整体码头结构，与传统高桩码头结构预制构件总数相比减少 80% 以上。水上工作人员由常规的“千人会战”压缩到十余人“班组攻关”。码头工程建设工期由传统的 12 个月压缩到 7 个月，大幅度提高建设功效，促成了项目早日投产。

3 结论

1) 码头工程装配式技术方案应结合工程特点、工程区域自然条件及建设工期等诸多因素进行选择及应用。

(上接第 10 页)

5 结语

1) 钢质靠船构件是基于装配式高桩码头设计需要提出的新型靠船构件，该结构适应装配式码头结构，改变传统码头靠船构件和下部构件的连接模式，使得码头横梁可以标准化设计和预制，有效提高码头装配率，充分发挥了全装配式高桩码头的优势。

2) 钢质靠船构件代替混凝土靠船构件，减少了码头施工工序，解决了靠船构件安装施工关键点，有利于工程施工安全，提高施工效率，运营期可直接更换设施，方便维护。

3) 通过安装应力监测点，对构件进行自动监测，可实现结构全寿命周期监护和管理。

4) 钢质靠船构件与混凝土靠船构件综合费用相当，在工程造价上具备一定的市场竞争力，有广阔的应用前景。

2) 装配式构件或模块应根据使用功能、结构形式、构件尺度及船吊能力等综合考虑构件的拆分及组装模式，合理匹配吊距及吊重。

3) 码头工程装配式技术方案不只是将现浇构件制作作为预制构件，还应重点研究配套相应节点连接的创新技术方案。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)[R]. 北京: 中华人民共和国国务院, 2006.
- [2] 中华人民共和国国务院.“十三五”国家科技创新规划[R]. 北京: 中华人民共和国国务院, 2016.
- [3] 中华人民共和国交通运输部科学技术部. 关于科技创新驱动加快建设交通强国的意见[R]. 北京: 中华人民共和国交通运输部科学技术部, 2021.
- [4] 张悦, 卢彦峰, 符惠萍, 等. 论装配式建筑项目在全生命周期中应用 BIM 技术的问题及对策[J]. 科技风, 2022(11): 75-77.
- [5] 于明. 装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理中的应用[J]. 科技与创新, 2022(8): 121-123, 128.
- [6] 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.
- [7] 钟扬, 邱松, 吴锋, 等. 装配式码头灌浆连接节点压弯性能试验研究[J]. 水运工程, 2020(8): 53-58.

(本文编辑 赵娟)

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] 方育平. 大水位差地区高桩梁板码头靠船构件的结构型式[J]. 水运工程, 1996(5): 14-16.
- [3] 胡若邻, 魏明晖, 李治学, 等. 某码头靠船构件改造与加固[J]. 水运工程, 2015(3): 145-149.
- [4] 黄海华, 陈峰. 高水位条件下靠船构件安装施工技术[J]. 水运工程, 2015(8): 71-73, 77.
- [5] 余马光. 高桩码头靠船构件快速安装工艺[J]. 水运工程, 2013(9): 186-190.
- [6] 庄磊. 靠船构件结构修改及“空中翻转”工艺应用[J]. 水运工程, 2006(3): 80-82.
- [7] 顾孙平. 新型靠船构件及其安装工艺[J]. 水运工程, 1995(4): 40-41.

(本文编辑 王传瑜)