

基于步履式吊装机的高桩结构 预制构件架设新技术

缪晨辉, 赵冬冬, 蒋彪

(中铁广州工程局集团有限公司, 广东 广州 511400)

摘要: 在梁板式高桩工程中, 如因环境受限导致预制构件不能采用起重船吊装, 则需要修建桥面宽、承载能力大的临时栈桥, 并利用大型履带吊进行构件吊装。但临时栈桥的高标准设计会导致施工成本大量增加, 造成亏损。围绕吊装设备在不同高程行走、分区域流水作业的思路, 开发一种步履式吊装机及配套技术, 可实现预制构件的全方位吊装。该吊装机可在桩帽上行走, 避免了建造高标准临时栈桥的难题。该吊装技术经工程实践应用, 具有安全、高效、经济、环保等优势。

关键词: 高桩结构; 预制梁板; 吊装机; 步履式; 全方位吊装

中图分类号: U655.4; U656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)06-0237-06

Walking type hoisting machine-based new technology for installation of prefabricated components in high pile structure

MIAO Chenhui, ZHAO Dongdong, JIANG Biao

(China Railway Guangzhou Engineering Group Co., Ltd., Guangzhou 511400, China)

Abstract: In high pile projects with prefabricated beam and slab structures, if prefabricated components cannot be hoisted by crane ships due to environmental limitations, a temporary bridge with a wide bridge deck and high load-bearing capacity needs to be built, and large crawler cranes need to be used for components hoisting. However, the high standard design of the temporary bridge will lead to a significant increase in construction costs, resulting in project losses. A walking type hoisting machine and supporting hoisting technology are developed around the idea of the hoisting machine walking at different elevations and operating sequentially in different zones, and the technology can achieve full range hoisting of prefabricated components. The hoisting machine can walk on pile caps, avoiding the problem of building high standard temporary bridge. The hoisting technology is applied in engineering practice, and it has advantages of safety, efficiency, economy, and environmental protection.

Keywords: high pile structure; prefabricated beam and slab; hoisting machine; walking type; full range hoisting

各类码头工程中, 高桩码头承载能力大, 建造周期短, 施工受水深、地质、波浪等影响小, 且工程造价相对较低, 现已在水运行业中得到广泛应用, 其结构形式也已逐步推广至沿海管桥工程中。

在水上高桩梁板式^[1]的管桥工程中, 上部结构的预制构件如纵横梁、面板等主要采用起重船吊装^[2]的工艺。在起重船无法进入的受限水域,

预制构件多为吊车驻位在临时栈桥^[3]上吊装的工艺。受预制构件起吊质量和吊距的影响, 需要采用大吨位的履带吊。大吨位履带吊质量大、占地宽, 配套的临时栈桥承载能力、交通能力等要满足需求, 就必须按照重载、宽幅的标准设计, 这会导致临时栈桥建造费用大幅提升。因此, 开发一种新的吊装工艺势在必行。

本文在参考借鉴轨道式吊装机^[4-6]吊装思路的

收稿日期: 2024-09-13

作者简介: 缪晨辉 (1985—), 男, 高级工程师, 从事港航工程技术管理。

基础上,研发出一种步履式吊装机及配套技术,解决了高桩管桥工程预制构件快速吊装难题。研究成果可为类似工程提供参考。

1 工程概况

连云港徐圩港区液体散货泊位应急消防通道及综合管网工程为典型的高桩梁板式结构,总长 3 344 m、宽 15.9 m,共 396 榀排架,每榀排架 3 个桩帽,上部有预制梁板共 5 456 件。该工程位于既有海堤内的水上区域,因海事不允许破坏海堤,打桩船、起重船无法进入该区域施工,故桩基采用灌注桩形式^[7]。设计计划通过修建临时栈桥作为灌注桩的施工通道,兼作工程上部预制梁板的安装通道。

根据原计划,预制构件采用履带吊在临时栈桥上驻位吊装的方案。该工程预制纵梁最大质量达 27 t,吊距超过 16 m,需要采用 150 t 以上的大型履带吊进行吊装。但 150 t 履带吊会显著增加临时栈桥施工荷载,致使临时栈桥建造成本大幅增加。此外,履带吊在吊装时占用范围大,会导致临时栈桥交通受限,影响全线施工。

若采用轨道式吊装机的方案,其行走轨道处的纵梁需要悬挑、配重吊装,施工风险高,且对单榀排架桩帽数量小于 4 个的高桩梁板式结构适用性极差,不能直接应用于本工程。

考虑到预制构件水上转陆上吊装的优势,改造吊装机仍是最切实可行的思路。为此,开展步履式吊装机及配套技术攻关,重点从优化行走方式、减少桩帽数量限制、提升吊装稳定性、加装自动化控制 4 个方面着手,克服轨道式吊装机的局限性。

2 吊装机结构设计

2.1 设计思路

借鉴轨道式吊装机、步履式架桥机^[8]的工作原理,围绕吊装机在不同高程行走、分区域流水作业的核心思想,研发预制构件全方位吊装的步履式吊装机:第 1 台吊装机行走于桩帽顶部,主要安装预制纵横梁等;第 2 台吊装机(或第 1 台吊

装机回退)在预制纵横梁安装完成并现浇节点后,行走于现浇节点上部,安装剩余的预制构件;2 台吊装机利用时间差实现不同区域平行作业,提高安装效率。

2.2 结构组成与功能

借鉴轨道式吊装机和步履式架桥机的结构设计理念,步履式吊装机主要由前中后 3 组大幅升降支腿、钢箱式主横梁、三角桁架主纵梁、上部提升结构(由固定式钢管支腿、支腿行走装置、天车行走横梁、天车、360°可旋转吊具、辅助伸缩支腿的组合)组成^[9],设计 3D 模型见图 1。吊装机按照 6 级风工况设计,采用纵向步履式行进、上部提升结构纵移、天车横移的方法实现预制构件的全方位吊装。

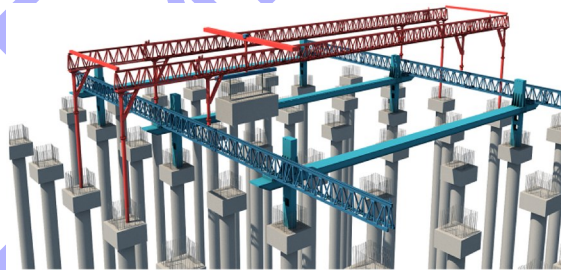


图 1 吊装机 3D 模型

Fig. 1 3D model of hoisting machine

2.3 大幅升降式支腿

大幅升降式支腿是步履式吊装机的核心内容。吊装机设计前、中、后各 2 条大幅升降式支腿,以保证吊装机的支撑稳定及行走功能。

支腿设计重点考虑 5 个方面:1) 支腿行走于桩帽顶部中间位置(图 2),支腿尺寸设计应考虑桩帽、预制纵横梁外露钢筋对支腿的影响;2) 吊装机在拼装时,在桩帽顶部预埋螺栓,在支腿底部焊接可轻松通过螺栓的带孔洞扩大底板,通过卡板、螺栓组合实现支腿固定,增加吊装机拼装时的稳定性,见图 3;3) 支腿的升降高度要超过桩帽顶到码头面的高度,并有一定的富余高度,确保支腿通过大幅升降后,能够跨过已安装的预制构件移动或回退到现浇节点上;4) 支腿横向间距设计要合理,应在满足安装功能的前提下,尽可能减小吊装机的结构尺寸,以降低设备制造成

本; 5) 支腿纵向间距可灵活调整, 但在安装时应不小于桩帽纵向中心距的 2 倍, 以满足预制横梁的安装功能, 见图 4。



图 2 支腿驻位桩帽
Fig. 2 Supporting legs standing on pile caps



图 3 支腿锚固设计
Fig. 3 Anchoring design of supporting leg

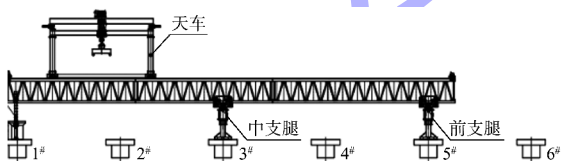


图 4 吊装时支腿与桩帽位置关系
Fig. 4 Positional relationship between supporting legs and pile caps during hoisting

2.4 钢箱式主横梁

吊装机设置前、中、后 3 条主横梁, 分别与 2 个升降式支腿组合。主横梁采用钢箱式结构, 以便于安装滚动托架, 并减小吊装机整体高度。

在主横梁升降支腿外侧一定距离安装的滚动托架, 包括反向托轮组及吊挂轮, 用于吊装机三角桁架主纵梁的安放及移动。滚动托架与支腿的

距离应满足三角桁架主纵梁安放后不干扰码头预制纵梁吊装的要求。通过滚动托架的设计, 钢箱式主横梁可在三角桁架主纵梁下部移动, 或三角桁架主纵梁在钢箱式主横梁上移动, 实现吊装机的步履式行进功能。

2.5 三角桁架主纵梁

在钢箱式主横梁的滚动托架上设置 2 条三角桁架主纵梁。主纵梁的长度不小于桩帽纵向中心距的 4 倍, 并有一定的外露长度。主纵梁顶部布设轨道, 并在轨道端头设置钢楔, 用于上部提升结构的行走。主纵梁安放完成后, 在主纵梁两端安装连接杆使之形成整体, 见图 5。



图 5 主纵梁与连接杆
Fig. 5 Main longitudinal beams and connecting rods

2.6 上部提升结构

上部提升结构包括 4 条固定式钢管支腿、2 排支腿行走装置、2 条天车行走的三角桁架横梁、2 条横梁端头连接杆、1 台天车、1 个 360°可旋转吊具、2 条喂梁侧的钢柱式辅助伸缩支腿等, 见图 6。



图 6 上部提升结构
Fig. 6 Upper lifting structure

上部提升结构设计重点考虑 5 个方面: 1) 钢管支腿高度要满足吊装梁体最大高度的要求, 并有一定的富余量, 以保证构件安全跨过支腿行走装置吊装; 2) 钢管支腿纵向间距应大于预制构件最大宽度, 并有一定富余量, 以保证构件通过天车横移; 3) 天车吊具固定在天车中间位置, 以确保吊装安全; 4) 辅助伸缩支腿采用自动化升降设计, 便于吊装机行走时的快速提升; 5) 如在支腿外非喂梁侧有预制构件安装需求时, 在三角桁架横梁底部设置可横移的辅助伸缩支腿, 在构件吊装时支撑在最外排的桩帽上。

2.7 自动化

吊装机采用变频电机驱动, 以减小设备行走的制动力。吊装机通过应用自动化控制设备, 单人无线遥控便可实现构件提升、移动、旋转、下放等所有安装步骤。

3 吊装机拼装及过孔

3.1 拼装

在高桩结构端部搭设临时钢平台, 或者安装不少于 3 跨预制构件并浇筑面层形成施工平台。吊装机构件运送至平台上, 利用汽车吊现场拼装, 具体步骤如下。

1) 吊装机支腿伸缩筒与支腿间的连接主横梁提前在平台上进行组装, 利用汽车吊整体吊装至现浇桩帽顶部。在平台前部第 1 和第 3 排架桩帽处安装中支腿和前支腿, 并采用桩帽预埋螺栓锚固; 后支腿先设在钢平台上。

2) 三角桁架主纵梁分节运至现场拼接, 采用汽车吊进行吊装, 安放在钢箱式主横梁的滚动托架上。安装时须将主纵梁从该托轮与吊挂轮中间穿过, 主纵梁安放完成后安装主梁连接杆使之形成整体。

3) 在主纵梁顶部依次安装上部提升结构, 包括支腿行走装置、钢管支腿、天车行走横梁、天车、吊具、辅助伸缩支腿等。

4) 待结构拼装完成后, 进行电气附属设备安装。完成后, 解除支腿锚固, 进行试运行。

5) 利用提升结构作为配重, 采用步履式架桥机相同的行进方式逐步将吊装机移动至桩帽上, 完成架桥机的过孔就位。

6) 吊装机安装完毕后, 应组织有关单位进行验收, 并委托具有国家认可检验检测资质的机构进行检测, 出具检验报告。作业前对吊装机进行空载、静载、动载试验, 试验成功后再进行正式构件安装作业。

3.2 过孔

完成 1 跨预制纵横梁架设后, 提升悬臂端的辅助伸缩支腿, 上部提升结构整体前移至架桥机前端作为配重, 收起后支腿。上部提升结构相对静止, 主纵梁前进 1 跨, 伸出后支腿, 收起中支腿。中支腿前移 1 跨, 伸出中支腿, 上部提升结构后退至架桥机后端作为配重。收起前支腿, 向前移动 1 跨, 并下放支撑在桩帽上, 下放悬臂端辅助伸缩支腿, 完成架桥机自平衡过孔, 做好喂梁准备。

4 预制架设方案

4.1 侧喂梁

采用临时栈桥作为运输通道, 通过平板车运输预制构件至吊装机侧下方进行喂梁。将构件运输到位后, 吊装机上部提升结构利用辅助支腿, 将构件移至待安装位置。完成 1 跨预制构件安装后, 过 1 次孔, 重复进行。预制纵横梁等安装完成后, 及时浇筑节点。待节点混凝土强度达到设计强度后, 吊装机按照过孔的逆方向回退行走, 驻位在浇筑节点部位进行剩余预制构件的安装。此外, 也可根据施工进度需求, 采用多台吊装机平行流水作业方式提高安装效率。

需要注意的是, 高桩工程桩基为灌注桩结构而必须修建临时栈桥时, 采用侧喂梁方案经济性最佳, 否则额外修建临时栈桥会增加工程施工成本。

4.2 后喂梁

采用后喂梁方案要求引桥必须在码头构件安装前完成施工, 确保陆上运输通道的通畅。在码头与引桥相连处安装不少于 3 跨预制构件并浇筑

面层形成施工平台, 以保证码头与引桥的衔接运梁。完成中间预制梁板安装, 及时浇筑中间部分形成运输通道, 利用该通道喂梁。

与侧喂梁不同, 后喂梁时三角桁架主纵梁要超出后支腿一定的距离, 且喂梁一侧端头不能用连接杆连接, 使平板车能够行驶至吊装机下部。在主纵梁尾部设简易辅助支腿, 以提高吊装机上部提升结构移动至主纵梁尾部吊装时的悬挑施工的安全性。

需要注意的是, 步履式吊装机无法像轨道式吊装机那样在排架间大范围快速移动, 中间通道必须及时浇筑混凝土面层并通车, 否则无法快速喂梁。故对于后喂梁工艺, 如工期过紧, 步履式吊装机适用性会较差。

5 应用实例

连云港港徐圩港区液体散货泊位应急消防通道及综合管网工程结合其施工特点, 研制并应用了侧喂梁非对称步履式吊装机^[10-11]。该吊装机升降式支腿最大升降幅度达到 2.6 m, 结构尺寸参数见图 7, 施工见图 8。

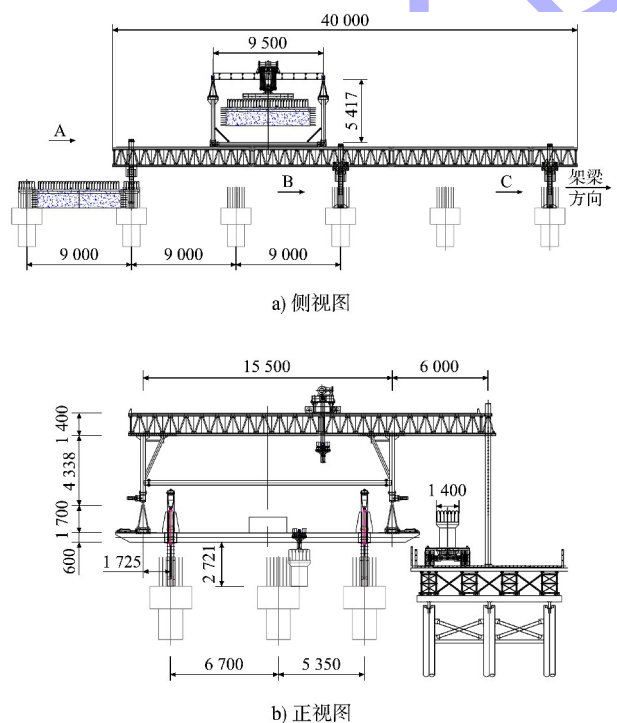


图 7 吊装机结构尺寸 (单位: mm)

Fig. 7 Structural size of hoisting machine (unit: mm)



图 8 吊装机施工

Fig. 8 Construction of hoisting machine

该吊装机在桩帽上步履式行走, 实现日安装 20~25 个预制构件的计划进度目标。经测算, 该吊装机研发投入约 150 万元, 设备可重复利用, 对比修建高标准栈桥的大型履带吊方案, 节约成本 220 万元, 节约工期 3.5 个月。

6 结语

- 1) 步履式吊装机通过大幅升降式支腿的行走设计, 解决了轨道式吊装机要求工程结构下部单榀排架桩帽数量不小于 4 个的条件限制, 进一步提升了吊装机的高桩梁板式结构的适用性。
- 2) 步履式吊装机可多机平行流水作业, 在抢工期时具有显著优势。该结构也适用于简支梁桥架设, 能为桥梁快速架梁施工提供新思路。
- 3) 步履式吊装机相比传统的起重船吊装施工, 转水上为陆上施工, 在安全、质量、进度、成本、环保等方面优势明显, 特别适用于风大、浪急等恶劣海况地区的施工, 为高桩码头工程向外海深水建设发展提供新的施工手段。

参考文献:

- [1] 高桩码头设计与施工规范: JTS 167-1—2010[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
Design and construction code for open type wharf on piles: JTS 167-1-2010[S]. Beijing: China Communications Press, 2010.
- [2] 中交第一航务工程局有限公司. 港口工程施工手册[M]. 2 版. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.
CCCC first harbor engineering Co., Ltd. Handbook for harbour engineering construction [M]. 2nd ed. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2014.

- [3] 公路桥涵施工技术规范: JTG/T 3650—2020[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.
- Technical specification for construction of highway bridges and culverts: JTG/T 3650 - 2020 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2020.
- [4] 缪晨辉, 曾晖, 王晓光. 高桩码头构件吊装新技术[J]. 水运工程, 2016(2): 176-180.
- MIAO C H, ZENG H, WANG X G. New technology of components installation in piled wharf [J]. Port & waterway engineering, 2016(2): 176-180.
- [5] 彭舟, 邓波. 架桥机在高桩码头预制构件安装中的应用技术[J]. 价值工程, 2021(5): 139-142.
- PENG Z, DENG B. Application technology of bridge erecting machine in the installation of precast components for high-piled wharf [J]. Value engineering, 2021 (5): 139-142.
- [6] 王沐. 高桩码头预制构件安装 [J]. 施工技术, 2019(S1): 517-521.
- WANG M. Installation of prefabricated components of high-piled wharf [J]. Construction technology, 2019 (S1): 517-521.
- [7] 汪高星, 陈志乐, 段稳盼, 等. 特殊地质条件下灌注桩施工技术[J]. 水运工程, 2017(4): 195-198.
- WANG G X, CHEN Z L, DUAN W P, et al. Construction technology of cast-in-situ pile under special geologic condition [J]. Port & waterway engineering, 2017 (4): 195-198.
- [8] 架桥机通用技术条件: GB/T 26470—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- General specification for launching machine: GB/T 26470 - 2011 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.
- [9] 蒋彪, 缪晨辉, 凌晓明, 等. 一种水上吊装系统及其转移方法: CN116119540B [P]. 2024-04-05.
- JIANG B, MIAO C H, LING X M, et al. A water crane system and its transfer method: CN116119540B [P]. 2024-04-05.
- [10] 赵冬冬. 高桩码头预制梁架设新工艺研究与应用[J]. 中国水运, 2024 (2): 115-117.
- ZHAO D D. Research and application of a new construction technology for erecting precast beams in high-pile wharf [J]. China water transport, 2024 (2): 115-117.
- [11] 赵冬冬, 缪晨辉, 陈晓川, 等. 一种码头桁架双梁式吊装机及多方向喂梁、架设施工方法: CN116768070B [P]. 2024-06-04.
- ZHAO D D, MIAO C H, CHEN X C, et al. A dock truss double-beam crane and its multi-directional beam feeding and erection construction method: CN116768070B [P]. 2024-06-04.

(本文编辑 王璁)

· 消 息 ·

广西防城港企沙港区 1 号泊位开港运营

2025 年 5 月, 四航局承建的广西防城港企沙港区赤沙作业区 1 号泊位开港运营。该项目主要建设 1 个 20 万吨级泊位, 岸线总长 415 m, 设计年通过能力 980 万 t。该项目的开港运营, 将进一步提升防城港港口综合能力和智慧化水平, 为临港企业提供更加优质高效的港口服务。

https://www.ccccltd.cn/news/jcxw/jx/202505/t20250519_220401.html (2025-05-08)