



全装配式高桩码头钢质靠船构件设计要点

唐照评，盛佳珺，陈海峰，杭建忠

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司，上海 200032)

摘要：通过调查研究目前码头采用的混凝土靠船构件应用和施工过程中存在的问题，针对全装配式高桩码头结构的设计需求，将混凝土靠船构件与前沿护舷功能合并，提出一种新型密闭式钢质靠船构件及相应的耐久性措施和结构健康监测方案。该结构由面板、背板和纵横筋板组成并采用密封结构，直接通过预埋螺栓安装于码头前沿，克服了靠船构件安装施工难点，有利于工程施工安全，提高施工效率。

关键词：全装配式；高桩码头；密闭型；钢质靠船构件；钢结构底座

中图分类号：U 656.1

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2023)05-0005-06

Key points of design for steel berthing members of fully prefabricated high-pile wharf

TANG Zhaoping, SHENG Jiajun, CHEN Haifeng, HANG Jianzhong

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

Abstract: This paper investigates the problems in the application and construction of concrete berthing members currently used in the wharf. To meet the design requirements of the fully prefabricated high-pile wharf, this paper proposes a closed steel berthing member, corresponding durability measures, and a structural health monitoring scheme by combining the functions of concrete berthing members and fender aprons. Adopting a sealing structure, this berthing member consists of a face plate, a back plate, and longitudinal and transverse rib plates. Its direct installation on the wharf apron by embedded bolts can overcome the difficulties in the installation and construction of berthing members, raise construction safety, and improve construction efficiency.

Keywords: fully prefabricated; high-pile wharf; closed type; steel berthing members; steel structure base

随着国内首个全装配式高桩码头在连云港某液体散货泊位工程中建成，绿色、低碳的装配式技术在码头工程中得到了全面应用^[1]。该工程主体结构按10万吨级船舶设计，除连接节点外，上部采用整根预制横梁及π形板结构形式。靠船构件作为码头结构承担船舶系靠泊撞击力的重要组成部分，如何在满足靠泊需求、可靠连接、简便安装等基本要求的同时适应码头结构的全装配式设计是关键技术问题之一。

本文通过分析高桩码头靠船构件近年来的设

计与施工现状，针对全装配式高桩码头的结构特点和设计要求，围绕适用于全装配式码头结构的新型靠船构件，介绍新型靠船构件的设计适用性、设计方案、结构监测及工程实施效果等，为进一步推广适用于装配式码头的附属设施提供借鉴。

1 靠船构件现状与问题

1.1 靠船构件设计现状

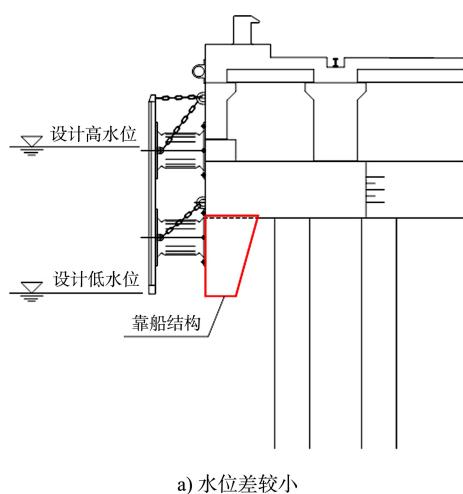
国内关于码头靠船构件方面的研究较少，

收稿日期：2022-11-15

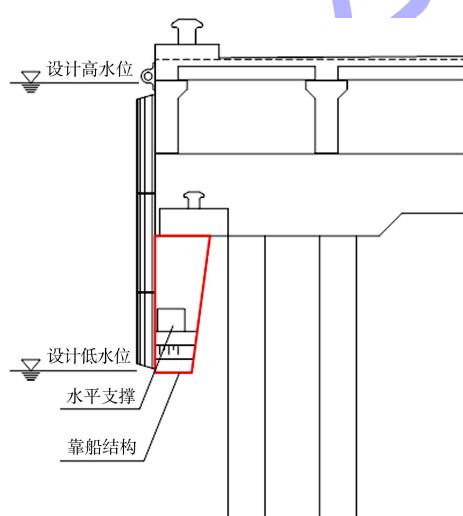
作者简介：唐照评（1980—），男，硕士，高级工程师，从事港口及航道工程规划及设计。

结构形式多年来变化甚小，较为常用的有混凝土靠船构件、钢立柱靠船构件、浮式靠船设施等。

当水位差较小时，码头横梁下方布置梯形、矩形、T 形或箱形等钢筋混凝土靠船构件，尺寸需满足护舷安装需要和结构强度要求。当水位差较大、靠船构件悬臂较长时，采用局部降低码头横梁底高程的措施，并可同时布置横向水平支撑结构（图 1）。当水位差很大时（如长江中上游地区），码头前沿可布置多层系缆平台或浮式靠船设施，一般采用钢管立柱靠船构件系统和码头排架布置的前排钢管桩连成整体，纵横向设置多层钢管加强连接（图 2、3）^[2-3]。



a) 水位差较小



b) 水位差较大

图 1 混凝土靠船构件

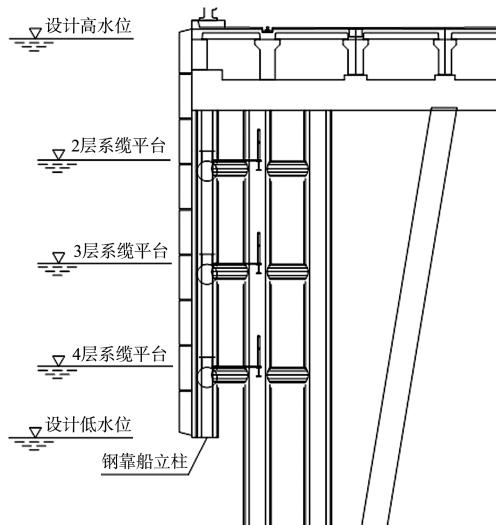


图 2 钢立柱靠船构件

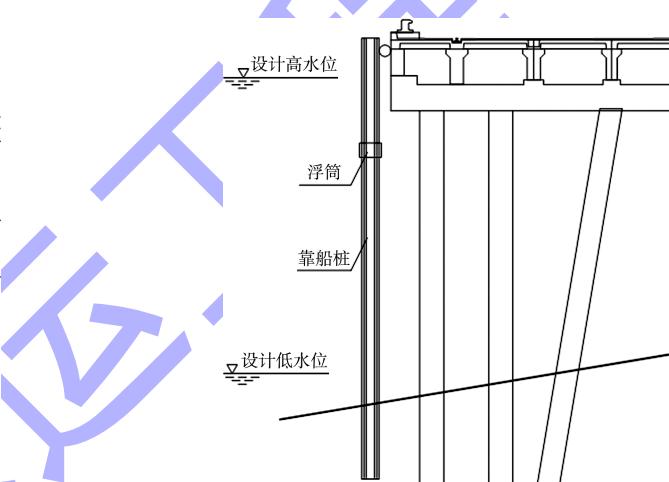


图 3 浮式靠船设施

1.2 靠船构件施工现状

靠船构件安装在码头横梁或者墩台前端下方，一般采用预制安装并与上部结构浇筑为整体的施工方式。随着泊位等级增大，需要安装的防冲设备越来越大，相应靠船构件的尺寸和质量也加大。水位受限时，下部支撑钢结构体系实施困难，也采用悬挂方式安装，利用前沿至少 2 根桩基布置支撑结构（图 4），上部架设悬挑钢结构，布置斜撑和斜拉钢筋增加稳定性，再将靠船构件吊安固定并将上部结构的钢筋骨架与靠船构件预留钢筋进行整体浇筑。常规靠船构件安装方案支撑系统布置复杂，用钢量大，作业受到水位影响，且吊装时需要大型船机设备，施工费用较高^[4-7]。

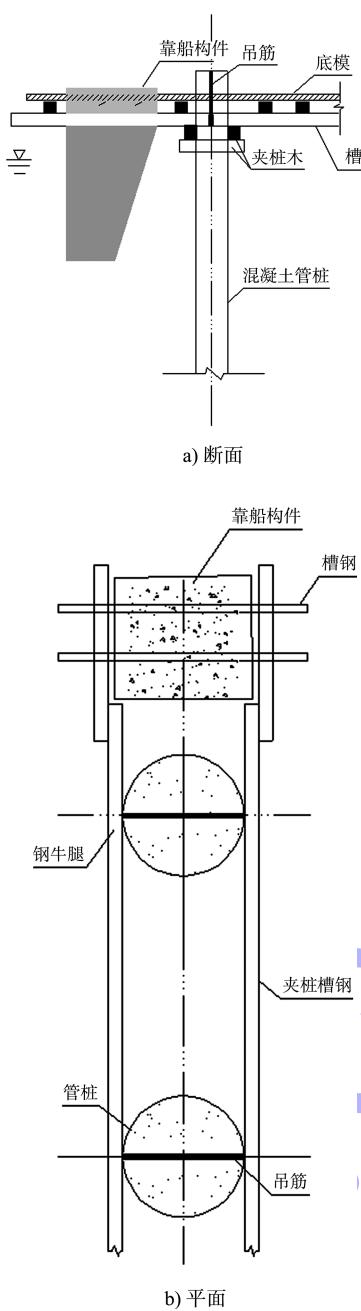


图4 传统混凝土靠船构件安装方案支撑系统

1.3 存在的技术问题

按照传统设计思路, 预制横梁前沿布置靠船构件, 需要部分前沿有鼓型橡胶护舷的横梁预制时保留前端部分待预制靠船构件安装后浇筑节点, 使得预制横梁种类增加, 不利于施工标准化。施工时要增加靠船构件预制、支撑钢结构体系安装、靠船构件安装、现浇节点等工序, 对装配式高桩码头结构的推进产生了较多不利因素。

基于装配式码头现状以及设计过程中遇到的

问题, 需要对前沿钢筋混凝土靠船构件结构进行专门研究, 减少装配式码头结构构件种类, 提高设计施工标准化程度, 提升装配式码头核心竞争力。

2 全装配式高桩码头靠船构件考虑因素

基于全装配式高桩码头结构特点, 靠船构件从设计、施工、使用等角度出发, 应主要考虑以下6方面因素。

1) 靠船构件主要功能是承受船舶撞击力, 受力复杂, 应按照受弯、受扭构件设计, 适用于全装配式码头结构的靠船构件从使用功能上不应低于此要求。靠船构件位置一般在浪溅区及水位变动区, 其耐久性等设计标准应满足规范和使用要求, 降低后期检修、维护成本。

2) 桩基码头装配化程度通常采用构件装配率和体积装配率2个指标度量。为提高装配率, 配套附属设施宜采用标准化生产、工厂化预制的混凝土或钢构件, 靠船构件本体制作与主体结构连接优先采用组装形式, 避免留有后浇节点。

3) 靠船构件尺寸、质量较大, 需要较大的施工船机设备进行安装作业, 因其位置的特殊性, 施工时需要悬挑在码头前沿, 临时固定支撑系统要求较高, 容易产生“磕头”等质量通病, 水上起重存在较高安全风险。适用于全装配式码头结构的靠船构件应尽可能规整形状、减小质量, 从而简化施工措施, 提高安装效率。

4) 码头使用年限较长, 可能有停泊船型变化, 不可避免地需要更换护舷规格, 但由于靠船构件位于横梁或桩帽下方, 受水位影响, 加固和更换难度大, 设计时需要考虑该结构改造的难点。因此, 码头附属设施的维护、更换应预留可操作性, 使装配式组装、更换的问题在设计期得到解决。

5) 新型靠船构件应可采用监测系统对各种工况下的结构响应和力学状态进行监测分析, 实现结构全寿命周期监护和管理。

6) 应根据材料、生产制造、施工功效、维护运营等各因素综合比价,使新型靠船构件较传统结构具有一定市场竞争力。

3 全装配式高桩码头靠船构件施工

对于钢质靠船构件采用一体式安装法,即先把防冲板、橡胶鼓、钢结构底座等3个组成部分预先在码头面上通过螺栓、螺母紧固拼装成一个整体,再用汽车吊将一体式钢质靠船构件吊起,落至安装位置,保持钢结构底座上螺栓孔与码头构件上预埋螺母对位,依次将螺栓旋入预埋螺母内,完成整体式安装(图5)。

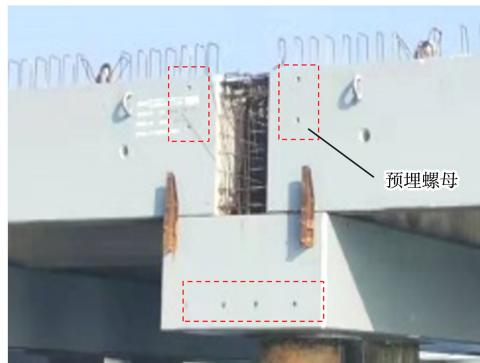


图5 预埋螺母位置

钢结构底座预留螺栓孔直径为90 mm,预埋螺母为M64,理论上各构件预埋螺母相对位置允许偏差13 mm。构件安装前检查预埋螺母之间的相对位置,查明与设计相对位置的偏差,并对每个安装排架做好记录,便于安装时微调底座位置。检查钢结构底座安装面是否平整、无杂物,安装前进行清理。检查螺母孔是否干净、无杂物,安装前进行清理。

4 工程实例

4.1 工程概况

连云港某液体散货泊位工程设计船型为10万吨级船舶,设计船型最大吃水14.9 m,设计高低水位分别为5.41、0.47 m。经计算,最大撞击能量730 kJ,码头前沿设置1450H鼓型护舷(两鼓一板,标准反力型),总吸能1 192 kJ,护舷最大反力1 872 kN。

下鼓中心高程为2.80 m,预制横梁底高程为4.19 m,为满足安装要求且减少钢结构底座悬臂长度,确定钢结构底座底高程1.70 m,悬臂长度2.49 m(图6)。

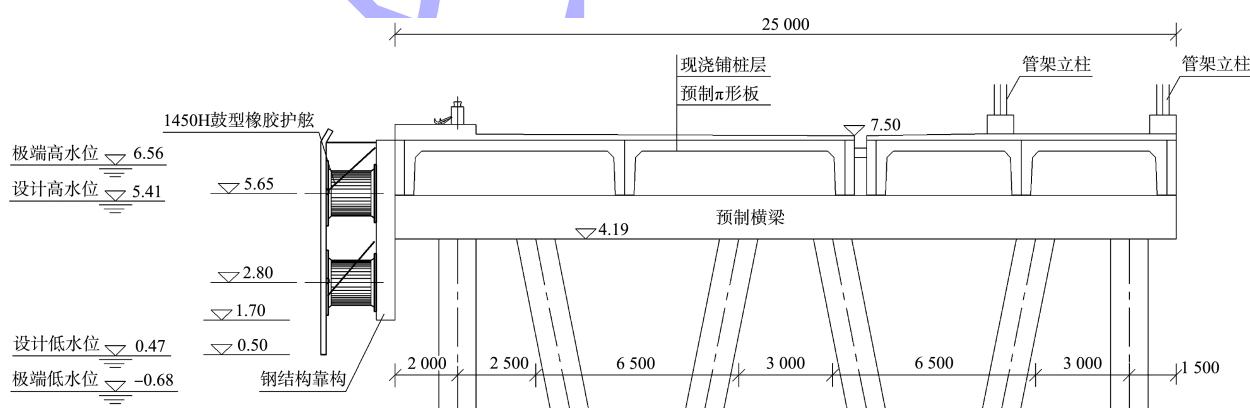


图6 某全装配式液体散货泊位断面(高程:m;尺寸:mm)

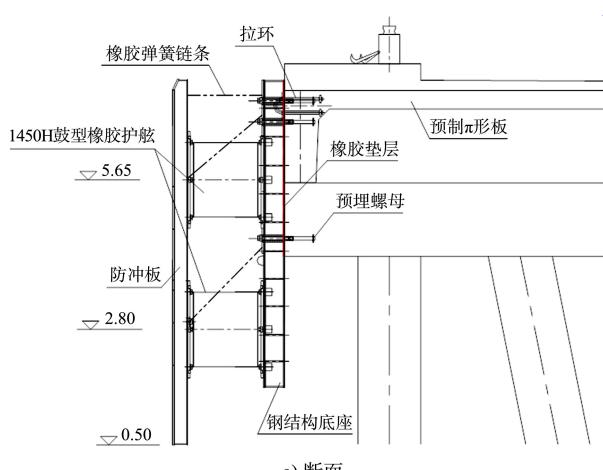
4.2 钢结构设计

设计将混凝土靠船构件与前沿护舷功能合并,整合为钢质靠船构件。钢结构底座通过预埋于主体结构的螺母快速安装。为增加撞击缓冲效果,钢结构底座与横梁混凝土端面之间设置有橡胶垫

层(图7)。为增加钢结构耐久性,钢质靠船构件采用密闭式结构,平面尺寸为5.86 m×2.20 m,由面板、背板和纵横筋板组成,整个结构密封,制作时进行水压密封试验。布置有贯穿面板和背板的预埋螺母套筒,靠船构件锚固螺栓和护

舷橡胶鼓安装锚固螺栓均位于面板上，因此靠船构件锚固螺栓位置受护舷安装螺栓位置和加强板分布的影响。经过放样，本项目锚固螺栓布置成3行，每行4根，均匀分布在板宽范围内。面板上设有护舷橡胶鼓安装锚固螺栓和拉环。钢结构底座结构高度为400 mm，钢板厚度16~25 mm(图8)。

与钢筋混凝土靠船构件相比，钢质靠船构件主要原材料为钢材，材料成本较高，但考虑钢筋混凝土构件的模板、出运安装和临时加固支撑等费用较高，而钢质靠船构件和护舷现场组装后直接一次性安装到位，无需进行安装后现浇施工，有效缩短工期 15 d 以上，两者综合费用相当。新型靠船构件在工程造价上具备一定的市场竞争力，有广阔的应用前景。



b) 平面

图 7 钢质靠船构件和护舷安装 (高程: m; 尺寸: mm)

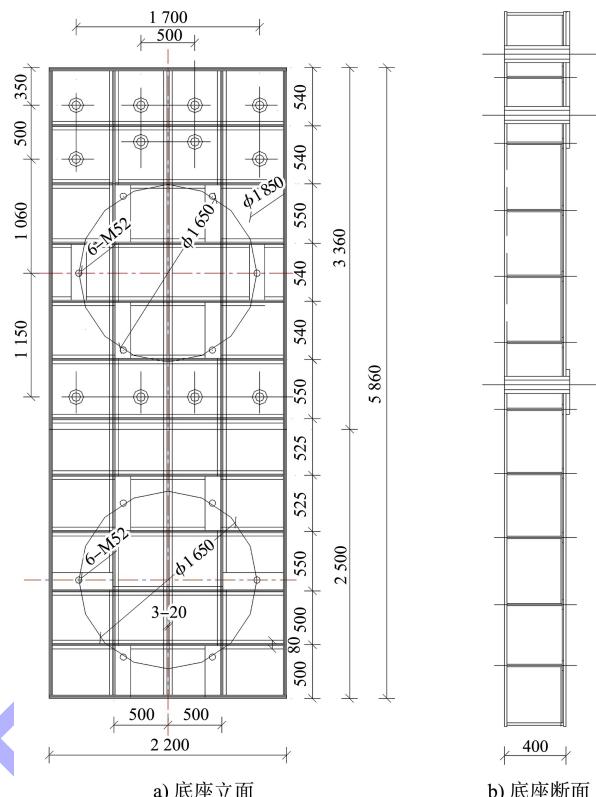


图 8 钢质靠船构件结构 (单位: mm)

4.3 结构监测

钢质靠船构件结构较为新颖，为掌握其工作性能，有必要进行结构健康管理，通过监测预警模块对钢质靠船构件在各种工况下的结构响应和力学状态进行监测，并将数据传输到数据终端完成数据的存储与记录，对监测数据处理和分析后给出结构健康状态，数据异常时进行预警。

应力监测点布置于钢质靠船构件受力的关键位置，单个构件宜布设不少于3个应力监测面，上下监测面对应上下护舷鼓中心高程位置，中间监测面对应于支撑混凝土结构底高程位置，每个监测面分别在面板、背板、竖向和横向筋板处各布置1个应力监测点，共计24点(图9)。

传感装置采用表面应变计，在钢质靠船构件安装到位后即焊接传感器固定座，并安装传感装置，调试正常后安装保护盒，保护盒外围涂装防水材料。其中面板、纵向筋板和背板的传感器布设方向为平行底座长轴，横向筋板的传感器布设方向为码头横断面方向。

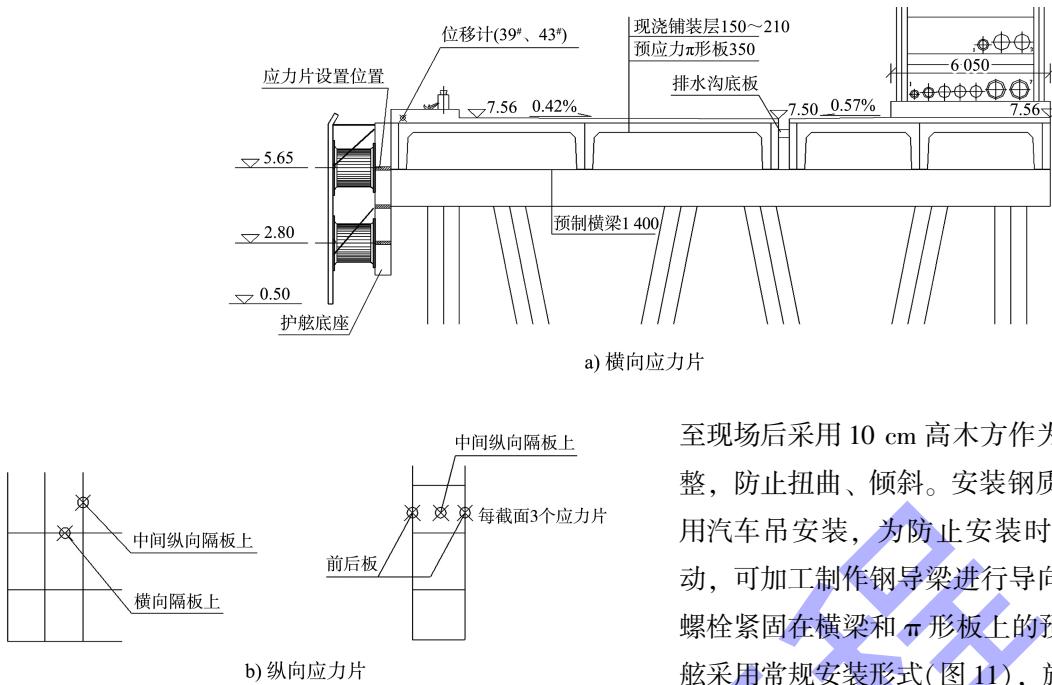


图 9 护舷底座应力监测点布置 (高程: m; 尺寸: mm)

为实时掌握船舶靠泊过程中撞击力以及船舶停泊期间波浪横摇状态下靠船构件的应力状态,采用自动化监测系统。该系统采用分层分布开放式结构,运行方式为分散控制,可命令各个监测单元按设定时间自动巡测、存储数据,并向监测中心报送。数据采集系统将各个单元内的监测数据采集后,上报至管理中心进行数据的处理、存储、分析,并将原始数据和处理结果存入主数据库和备份数据库中,提高信息采集的频率和质量,为结构设计复核和安全运营提供海量数据。自动化监测系统见图 10。

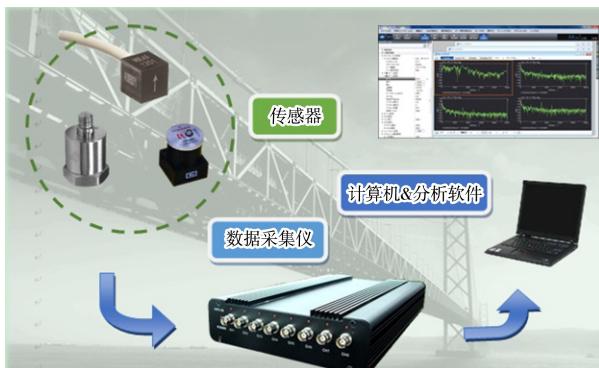


图 10 自动化监测系统

4.4 施工及实施效果

钢质靠船构件在专业厂家直接制作完成,运输

至现场后采用 10 cm 高木方作为支垫堆存,摆放平整,防止扭曲、倾斜。安装钢质靠船构件底座时采用汽车吊安装,为防止安装时钢质靠船构件的摆动,可加工制作钢导梁进行导向限位,钢导梁使用螺栓紧固在横梁和 π 形板上的预埋螺母上,前沿护舷采用常规安装形式(图 11),施工流程见图 12。



图 11 钢质靠船构件成品及安装效果

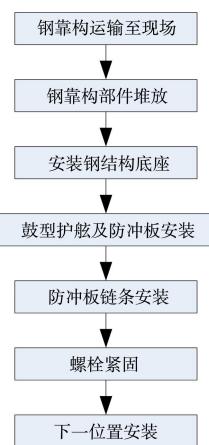


图 12 施工工艺流程

(下转第 16 页)