

# 新型钢结构泊位的设计与实施

魏建宇, 周 维, 邬俊文, 王玉平

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

**摘要:** 以中国香港地区某项目为工程背景, 基于施工现场特点, 设计一种新型悬臂式钢结构靠船设施, 更好地适应项目临时性建设的需要, 实现材料循环利用和成本节约。对比分析新型悬臂钢结构泊位与传统码头泊位的区别与优势; 结合当地水文条件, 利用有限元模型对其进行内力计算及稳定性分析。结果表明, 新型钢结构泊位的抗剪、抗弯、抗拉、抗压、屈曲稳定以及变形等均可满足安全要求, 且具有安装工期短、投资小、可环保回收的优势。研究结果可为同类工程项目的设计与实施提供借鉴。

**关键词:** 新型悬臂钢结构泊位; 有限元模型; 吊装施工

中图分类号: U656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0187-05

## Design and implementation of new steel structure berth

WEI Jianyu, ZHOU Wei, WU Junwen, WANG Yuping

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

**Abstract:** Selecting a project in Hong Kong, China as the engineering background, based on the characteristics of the construction site, a new cantilever steel structure berthing facility is designed to better adapt to the temporary construction needs of this project, and realize material recycling and cost saving. The difference and advantage between the new steel structure berths and the traditional wharf berths are compared and analyzed. Based on the local hydrological conditions, the internal force calculation and stability analysis are carried out using the finite element model. The results show that the shear resistance, bending resistance, tensile strength, compression resistance, buckling stability, and deformation of this new type of steel structural berth can all meet safety requirements, and it has the advantages of short installation period, low investment, and environmentally friendly recycling of the new berth. The research results can provide reference for the design and implementation of similar engineering projects.

**Keywords:** new cantilever steel structure berth; finite element model; lifting construction

### 1 工程概况

中国香港地区某项目建设原材料需求量大、工期紧。根据工程建设规划, 需要在指定的沿海380 m岸线范围内现有的斜坡护岸结构基础上建设3个船舶靠泊点, 以满足船舶停泊和装船需要。拟建靠泊设施不仅需要在短期内能投入使用, 且建设期间

不得对现有的构筑物产生扰动, 同时不能产生扰民噪声。现有斜坡护岸堤内回填不同级配堤心石, 堤顶为尺寸2 m×2 m×3 m的30 t方块大砖, 护面为6 t四角锥体相互咬合结构, 典型斜坡式护岸结构形式如图1所示。为适应护岸结构形式, 设计了一种新型悬臂钢结构泊位, 以满足项目建设需要。

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 魏建宇(1991—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口海工结构设计工作。

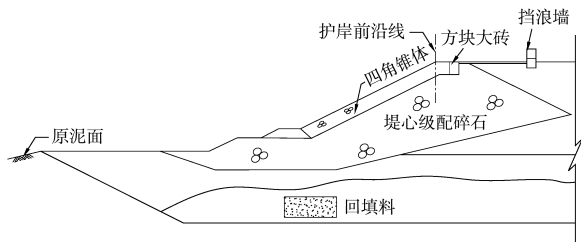


图1 斜坡护岸结构形式

### 2 简易靠泊点结构形式对比分析

码头泊位结构形式一般分为高桩结构、重力式结构、板桩结构等3种形式<sup>[1-2]</sup>。高桩结构由桩基和上部结构组成，桩基打入土中持力层作为受力基础，对地基土层扰动较大；重力式结构需要先开挖基槽，再将构筑物放置于基槽中，依靠构筑物的自重保持结构稳定性，对地基的要求较高；板桩结构借助施打前板桩墙和后方锚碇设施形成稳定结构。3种码头结构形式多用于大型码头工程，施工难度大、造价高、建设周期长，不适用本项目临时靠泊点使用周期短(5 a)、建设成本低的理念。

为适应斜坡式护岸现有构筑物下的船舶靠泊要求，可借鉴LNG蝶形码头形式，在离岸一定距离的水深处，在装船皮带机中心线两侧对称分别建设1组靠船墩，如图2所示，靠船墩和护坡泊位间采用钢结构栈桥连接。每组靠船墩由3根钢管桩基础及桩顶钢结构平台组成，桩基呈三角形结构布置，形成稳定受力结构，桩外侧设置橡胶护舷用于船舶靠泊缓冲。该设计方案能很好地适应地基以及靠船需要，但此类靠船设施施工精度

要求高，施工难度相对较大，沉桩作业时对周边土体扰动较大，施工噪声大。此外，施工过程中还需调遣大型专用施工船舶，后期拆除难度较大，循环利用率低，施工和拆除费用均较高。

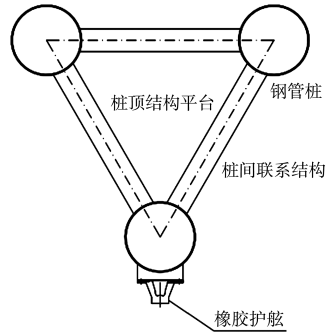


图2 单组靠船墩结构

目前，对单独的钢结构泊位研究还比较少见，比较常见的主要为临时钢板桩码头、驳船、临时栈桥等靠泊形式<sup>[3-7]</sup>，有学者对临时钢结构码头的防腐进行了研究<sup>[8]</sup>。本项目桩基础墩台靠泊构件具有施工难度大、成本高、工期长等特点，不仅对现有构筑物有扰动，且由于噪声管控区域禁止打桩作业，结合靠泊船型(4 000吨级以内)较小、靠泊撞击力小的特点和施工快速、造价低、后期复原简便的临时设施使用要求，设计了一种悬臂式钢结构靠船设施(含配重箱)，如图3所示。该钢结构泊位可利用码头前沿混凝土大砖结构，具有设计简单、施工方便、日常维护简便以及后期易拆除的特点，更好地适应项目临时性建设的需要，可实现材料循环利用和成本节约。

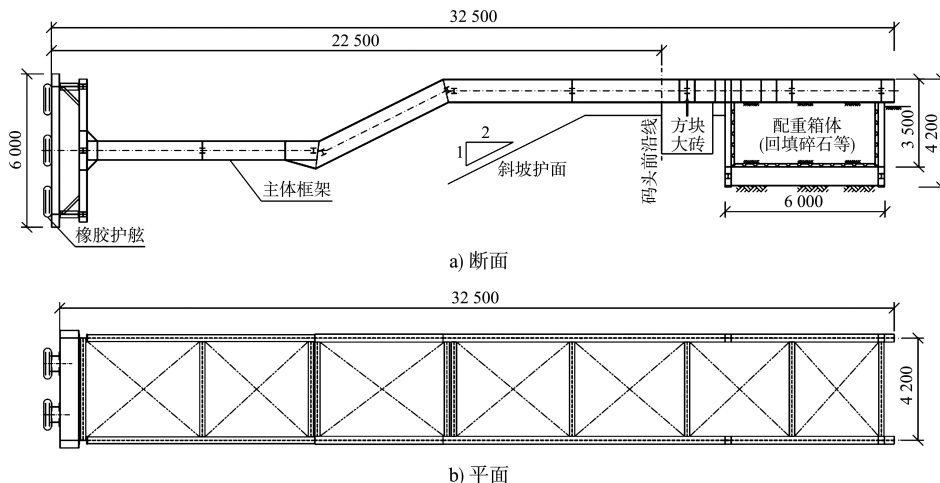


图3 钢结构泊位结构 (单位: mm)

### 3 设计方案

#### 3.1 钢结构泊位设计布置

项目需在已有码头前沿 380 m×90 m 的范围内布置 3 条皮带机生产线用于建筑废料的出运。为了适应码头前沿斜坡堤和水深的要求, 在满足最大船型 4 000 吨级平板驳船靠泊的情况下采用钢结构靠泊的方案。码头总平面布置如图 4 所示, 为

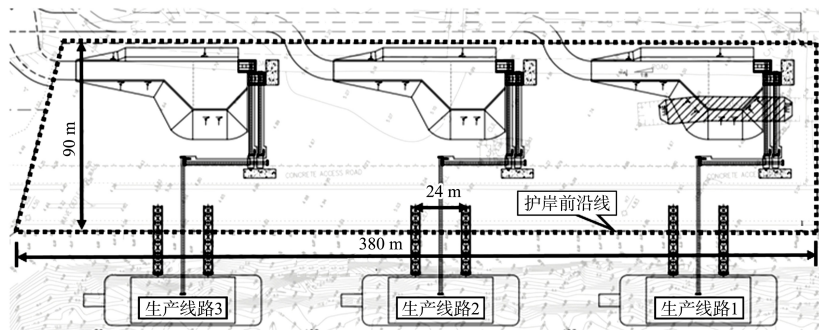


图 4 码头总平面布置

现有斜坡上方为由标准预制混凝土大砖安装形成的直立堤, 为了更好地发挥混凝土抗压特性, 每条钢结构泊位采用外伸悬挑结构及后方土石料配重箱的组合结构形式, 前方外挑的钢结构质量由后方的土石料配重箱平衡, 整个主框架总长 32.5 m、宽 4.2 m、高 6.0 m; 平衡箱长 6.0 m、宽 4.2 m、高 4.2 m, 该结构泊位的设计寿命期为 5 a。

#### 3.2 设计计算

##### 3.2.1 水文条件

设计高水位 2.0 m, 设计低水位 0.5 m, 平均水位 1.3 m, 极端高水位(重现期为 5 a 的年极值高水位)3.0 m, 极端低水位(重现期为 5 a 的年极值低水位)-0.2 m。

工程位于香港将军澳地区内陆侧湾内, 水文波浪条件较好, 且作业时船舶靠泊时间短, 满载

满足船舶停靠泊稳要求, 每个泊位设置 2 个靠船点, 每个靠船点的单樞悬臂钢结构沿出海段皮带机生产线两侧对称布置, 以满足装船和靠离泊的需要。考虑到最大 4 000 吨级靠船船型长 75 m, 且该地区位于开敞式无掩护水域, 为了保证靠泊稳定性并满足装料时移船需要, 两樞钢结构泊位的中心线间距定为 24 m。

即走; 另外考虑到工程为非永久性结构, 且为透空式钢结构, 计算时不考虑波浪。

##### 3.2.2 设计船型

项目设计靠泊最大船型为 4 000 吨级平板自航船, 兼靠 2 000 吨级横鸡趸船, 船型尺寸见表 1。

表 1 运输船型尺寸

船型	总长/m	型深/m	型宽/m	满载吃水/m
4 000 吨级平板自航船	75	5.60	22.80	4.32
2 000 吨级横鸡趸船	50	4.88	20.36	3.80

##### 3.2.3 钢结构桁架内力计算及稳定分析

本工程设计荷载为钢结构及其配重箱自重力、风荷载、船舶靠泊荷载等。采用 SAP2000 有限元计算软件对结构进行建模计算, 对钢结构桁架的整体结构进行三维建模, 采用梁单元进行模拟, 对结构施加船舶靠泊荷载、侧向风压等荷载, SAP2000 计算模型如图 5 所示。

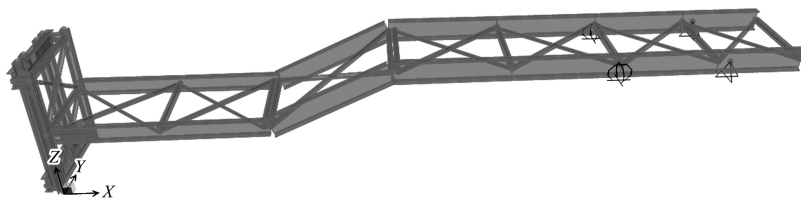


图 5 SAP2000 有限元计算模型

该钢结构泊位采用 16 和 40 mm 两种厚度的钢板材。在设计过程中，厚度小于 16 mm 的钢结构强度为 310 MPa，40 mm 的钢结构强度为 295 MPa。根据香港钢结构应用规范<sup>[9]</sup>，对钢结构构件的抗剪、抗弯、抗拉、抗压、屈曲稳定等进行计算复核，钢结构构件的最大受力及弯矩见表 2。

根据 SAP2000 有限元软件建模计算复核，钢结构构件的抗剪、抗弯、抗拉、抗压、屈曲稳定均满足安全要求，其中钢结构应力验算结果见图 6。

表 2 钢结构构件最大受力及弯矩

钢构件号	承载能力极限状态荷载组合	受力
18	1.4D+1.4W <sub>y</sub>	扭转力 T=54.97 kN
18	1.4D+1.6L	轴力 P=293.52 kN
18	1.4D+1.4W <sub>D</sub>	x 方向弯矩 M <sub>x</sub> =720.86 kN·m
81	1.4D+1.6L	x 方向剪力 V <sub>x</sub> =152.40 kN
81	1.4D+1.6L	y 方向弯矩 M <sub>y</sub> =103.90 kN·m
82	1.4D+1.6L	y 方向剪力 V <sub>y</sub> =256.80 kN

注：D 为永久荷载，L 为可变荷载，W<sub>y</sub> 为 y 方向风荷载，W<sub>D</sub> 为竖向风荷载。

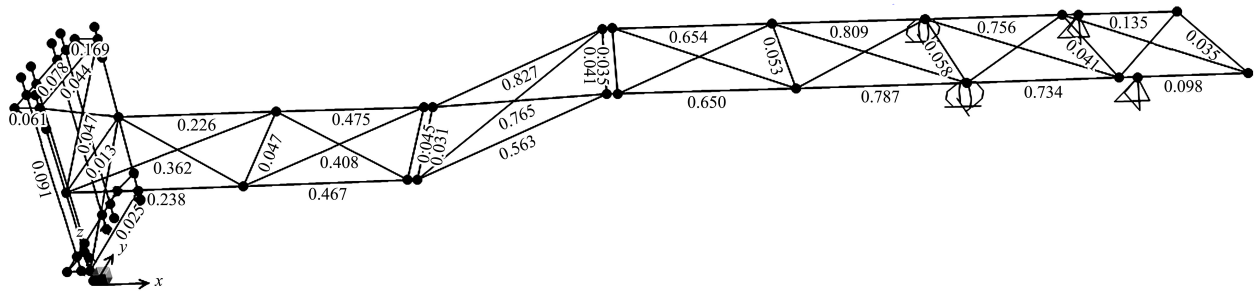


图 6 软件应力比验算结果

### 3.2.4 钢结构配重箱稳定计算

钢结构配重箱受滑动或向上拔起的力，进行抗滑和抗拔两种工况下的稳定性验算。根据模型计算对抗滑以及抗拔支座处的受力进行分析，可得抗滑、抗拔安全系数分别为 1.42 和 1.11，均满足安全要求(标准值均为 1)。

对钢结构受力后的挠度变化进行校核验算，计算钢结构变形如图 7 所示。根据计算结果，在最不利的受力工况组合情况下，挠度为 137.4 mm，在容许范围内(<147.2 mm)，说明钢结构可以承受荷载作用下的变形要求。

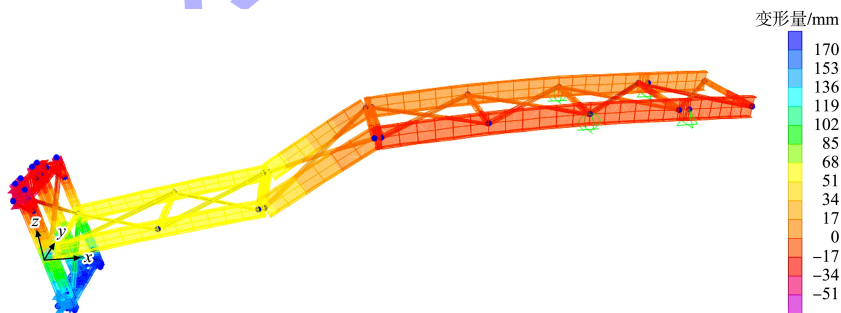


图 7 SAP2000 软件钢结构变形

## 4 施工方案

钢结构泊位安装流程见图 8。经计算，施工使用的钢结构质量为 52 t，由内地运输船运输至香港水域指定安装点后，采用 200 t 浮吊船进行吊装

(图 9)。吊装过程中，浮吊船与岸线垂直停泊，船体一侧距离岸边约 14 m，另一侧在距离预定安装位置约 14 m 处落锚驻船，货船与浮吊船平行停泊，浮吊船的吊臂主吊钩能够完全覆盖货船和钢

结构安装位置。安装过程中,需要时刻注意风浪等的影响。钢泊位吊装到位后,用后方石料回填钢结构石料配重箱,完成后浮吊船方可解缆离开。实际吊装过程显示,每榀钢结构吊装需2.5 h,整个泊位安装用时半天。与传统泊位安装对比,大大缩短了工期,且安装完成后即具备靠泊条件。

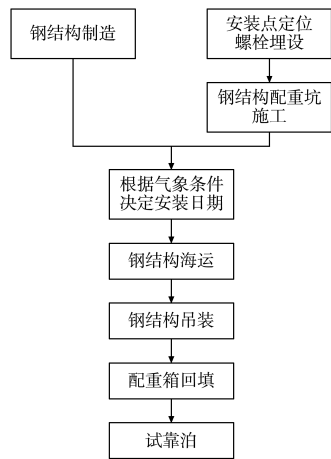


图8 钢结构安装流程

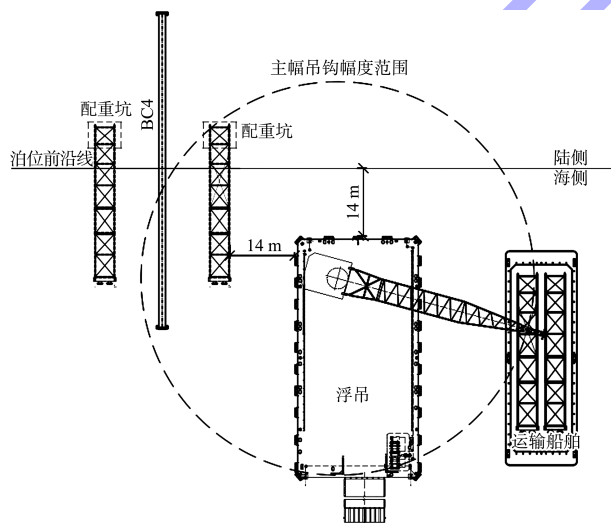


图9 钢结构泊位吊装

## 5 结论

1) 对新型结构施加船舶靠泊载荷、侧向风压等载荷,计算得到各组合下该结构构件的最大受力及弯矩,结果显示其抗剪、抗弯、抗拉、抗压、

屈曲稳定性均满足安全要求;对新型结构进行抗滑和抗拔两种工况下的稳定性验算,结果显示支座处受力均满足安全要求;对新型结构受力后挠度变化进行校核验算,结果显示其挠度在容许范围内,能承受载荷作用下的变形要求。

2) 采用吊装施工方案能快速完成型钢结构安装,施工方便,缩短了工期,可快速形成泊位靠泊条件。

3) 新型悬臂钢结构泊位不但具有经济节约、可回收利用的优点,又能满足各种安全需求,可为后续类似工程提供借鉴。

## 参考文献:

- [1] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [2] 刘宝成. 外海施工临时码头设置探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018(6): 189-190.
- [3] 陆阳, 尹海涛. 临时钢板桩码头的设计与应用[J]. 水运工程, 2019(S2): 91-94.
- [4] 崔江浩, 杨明. 一种新型内河临时码头驳船靠泊方式[J]. 中国水运(上半月), 2020(7): 105-107.
- [5] 周伟, 熊彪, 王孝兵. 港珠澳大桥某预制场临时码头工程提梁门架设计[J]. 水运工程, 2015(8): 21-26.
- [6] 杨晓非, 彭翔. 可速建速拆式临时码头设计选型与施工[J]. 建筑技术开发, 2018, 45(9): 41-43.
- [7] 张玲. 钢管板桩结构的设计计算和施工工艺研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2016.
- [8] 胡辉. 临海码头钢结构的防腐施工技术[J]. 建筑施工, 2020, 42(3): 431-434.
- [9] Hong Kong Buildings Department. Code of practice for the structural use of steel 2011[M]. Hong Kong: Hong Kong Buildings Department, 2021.
- [10] 中冶京诚工程技术有限公司. 钢结构设计标准: GB 50017—2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.

(本文编辑 王传瑜)