

# 浅谈几内亚湾码头横梁施工平台设计和受力验算

高锁

中铁十四局集团海外建设发展有限公司

**摘要：**随着我国建筑施工企业不断走出国门，海外工程承揽越来越多，本项目所在地非洲几内亚湾海上风浪较大，施工环境复杂，且码头横梁底标高较低，高水位时位于水面以下。码头横梁施工平台利用钢管桩以及桩基顶设置的扁担梁作为综合支撑搭建平台，为类似工程提供了借鉴。

**关键词：**海上码头；钢栈桥；钢管桩；扁担梁；施工平台

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.23.095

## 一、概述

尼贝原油外输管道工作船码头项目是尼-贝原油外输管道工程重要配套项目之一，位于贝宁赛美地区赛美终端站南端的海域。本项目建设规模为：建造一个海上工作船泊位，用于2个5000PS的多功能拖船和1个辅助船（带电缆船）停靠，泊位长度60m，宽25m；同时为了抵抗外海的海浪，在码头的旁边建造了长442m的防波堤，通过一个长262.4m的引桥与陆地道路相连。

码头尺寸为60m×25m，设一个值班室，下部结构包括桩基27根，横梁9根，横梁上安装叠合板后浇筑混凝土面层。码头横梁底标高为1.75m，横梁尺寸为（长\*宽\*高）25\*2.2\*2.1m，侧面施工靠船构件和横撑，顶面铺设预制板后进行混凝土现浇施工。

## 二、平台设计说明

根据本工程范围内码头处水文地质资料，综合考虑水深、地质条件及洪水水位，施工临时支架设计采用打入式钢管桩+桩顶扁担梁+I40b工字钢纵梁结构。

施工支架桩基础采用Φ610×10mm钢管，钢管入土深度为10m；桩基顶设置扁担梁，扁担梁由三拼I22工字钢以及Φ32精轧螺纹钢组成；主横梁采用双拼I40b工字钢；纵梁采用I14a工字钢，间距为350mm；分配梁型号采用10cm×10cm方木，间距为250mm；底模采用12mm竹胶板。

## 三、码头横梁施工临时结构验算

### （一）设计材料参数

根据《钢结构设计标准》（GB 50017-2017），各类钢材强度设计值如下：

（1）型钢、钢管桩、分配梁按照《钢结构设计标

准》（GB 50017-2017）取值：

Q235钢材： $f = 215\text{MPa}$ ， $f_v = 125\text{MPa}$ 。

角焊缝强度为140MPa，考虑0.9的工地焊接折减，允许焊缝强度： $[\tau] = 126\text{MPa}$

（2）钢弹性模量： $E_s = 2.06 \times 10^5\text{MPa}$ 。

### （二）永久荷载说明

（1）结构自重（ $G_1$ ）：按结构的各类型钢自重取值

（2）上部模板及支撑自重（ $G_2$ ）：取 $2.0\text{kN/m}^2$

（3）新浇筑混凝土（包括钢筋）自重标准值（ $G_3$ ）：

钢筋混凝土容重取 $26\text{kN/m}^3$

### （三）可变荷载说明

（1）施工人员及机具荷载 $Q_1$

参照《建筑施工承插型盘扣式钢管支架安全技术标准》（JGJ/T 231-2021）4.2.3条，按 $3\text{kN/m}^2$ 考虑。

（2）振捣混凝土时产生的荷载标准值 $Q_2$ ，对水平面模板可取 $2\text{kN/m}^2$ ，对垂直面模板可采用 $4.0\text{kN/m}^2$ 。故顶模按 $2\text{kN/m}^2$ ，侧模按 $4.0\text{kN/m}^2$ 计。

（3）倾倒混凝土时，对垂直面模板产生的水平荷载标准值 $Q_4$ ，根据《建筑施工承插型盘扣式钢管支架安全技术标准》（JGJ/T 231-2021）4.2.3条的要求，可取计算工况下的竖向永久荷载标准值的2%。盘扣支架上部模板及支撑荷载取 $2.0\text{kN/m}^2$ ， $(2.0+26) \times 2\% = 0.56\text{kN/m}^2$ 。

（4）风荷载 $Q_3$

根据《建筑结构荷载规范》（GB 50009-2012）附录E： $w_0$ 基本风压，近海地区，取10年重现期基本风压取 $0.7\text{kN/m}^2$ 。

### （四）码头横梁支架计算

#### 1. 计算模型

本码头横梁支架结构受力采用Midas-Civil2021（910版本）进行复核算，码头横梁支架模拟共采用6377个节点，5536个梁单元，电算建模细则如下：

建模范围：对码头横梁施工支架进行整体建模计算。

单元类型：I40b主横梁、I14分配梁、I22a垫梁及钢管采用一般梁单元模拟。吊筋采用桁架单元进行模拟。

边界条件：主梁与主横梁、主横梁与钢管立柱均采用弹性连接方式；钢管立柱底部采用固定约束；垫梁顶端采用固定约束。

荷载施加：结构自重由软件自动计算；恒载及活荷载采用面荷载形式施加。

2. 工况分析

混凝土一次性浇筑，浇筑顺序从中间往两侧进行，浇筑速度控制在2.5m/h。

3. 工况组合

荷载基本组合如下表：

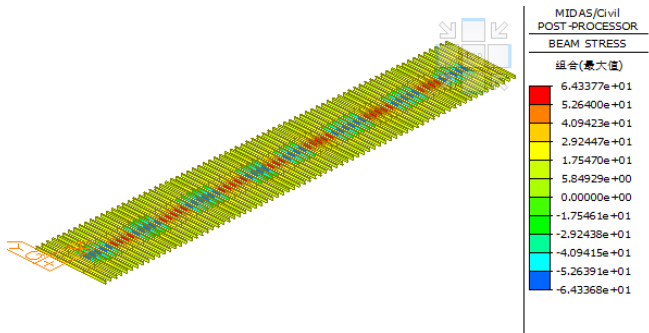
荷载组合	荷载
工况	1.3自重+1.3×混凝土湿重+1.5×活荷载

荷载标准组合如下表：

荷载组合	荷载
工况	1.0自重+1.0×混凝土湿重+1.0×活荷载

荷载说明：荷载基本组合用于构件强度及稳定性计算；荷载标准组合用于结构刚度，钢管桩传至土层反力计算。

4. I14工字钢分配梁计算结果

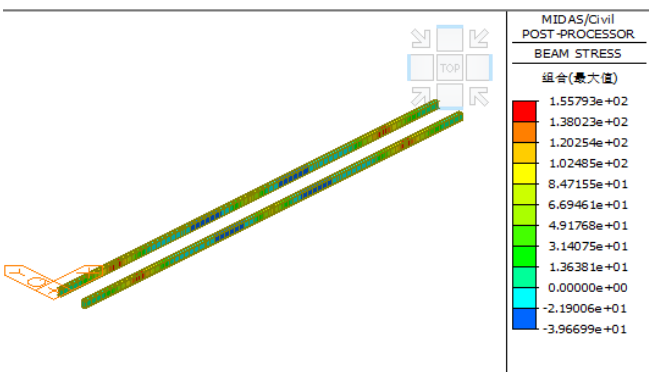


I14工字钢组合应力图 (Mpa)

根据计算结果可知，I14工字钢最大组合应力为64.3Mpa，则：

$$\sigma_{max} = 64.3 \text{Mpa} < [\sigma] = 215 \text{Mpa}, \text{强度满足要求。}$$

5. 双拼I40b工字钢主梁计算结果

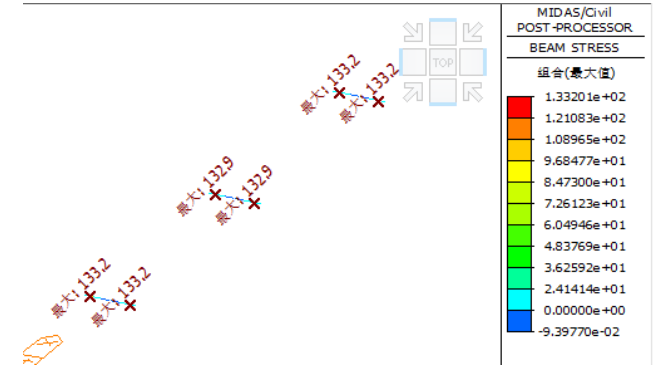


双拼I40b工字钢组合应力图 (Mpa)

根据计算结果可知，双拼I40b型钢最大组合应力为156Mpa，则：

$$\sigma_{max} = 156 \text{Mpa} < [\sigma] = 215 \text{Mpa}, \text{强度满足要求。}$$

6. 三拼I22a工字钢垫梁计算结果

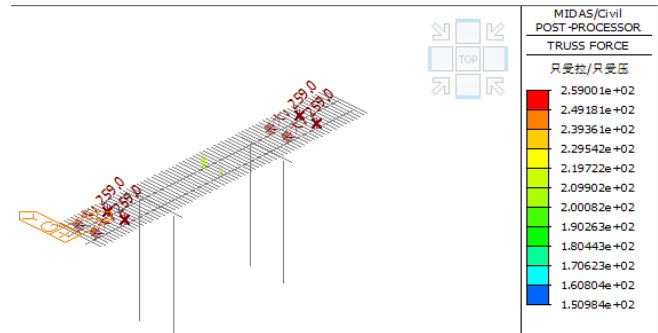


三拼I22a工字钢组合应力图 (Mpa)

根据计算结果可知，三拼I22a型钢最大组合应力为133.2Mpa，则：

$$\sigma_{max} = 133.2 \text{Mpa} < [\sigma] = 215 \text{Mpa}, \text{强度满足要求。}$$

7. PSB830 Φ32精轧螺纹钢计算结果



根据上述计算结果，当施工工况最不利时，一侧吊杆产生的拉力为N=259.0kN。钢筋的抗拉强度设计值为fy=830MPa，抗倾覆安全系数 K=1.5。

每根钢筋产生的拉应力为：

$$F_{y1} = \frac{N \times K}{C \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2} \div 1000$$

$$= \frac{259 \times 1.5}{\frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.032^2} \div 1000$$

$$= 483.31 \text{MPa} < f_y = 830 \text{MPa}$$

结论：满足钢筋抗拉强度要求。

8. 钢管桩计算结果

根据各工况计算结果可知，钢管桩最大支点反力处于工况二混凝土罐车荷载不偏载的情况，则：

$$R_{max} = 198.3 \text{KN}$$

钢管桩入土后，泥中部分可作为固定端，水中部分则为悬臂端。水平荷载中横桥向受水流力与风荷载作用，顺桥向受汽车制动力作用；竖向荷载则受主梁支点反力作用，泥水交界面处钢管桩将产生较大的组合应力。钢管桩属两个主平面内闭口截面压弯构件，因此需按压弯构件验算其桩身强度与稳定性。

Φ610×10mm钢管的回转半径*i<sub>x</sub>*=*i<sub>y</sub>*=212.2mm；*A*=18850mm<sup>2</sup>。不考虑横联作用则钢管桩最大高度为12m，则长细比计算如下：

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{l}{i_x} = \frac{12000}{212.2} = 56.56, \text{ 查表得a类构件稳定系数}$$

$$\phi_x = \phi_y = 0.825$$

水流力线荷载产生的弯矩：*M<sub>S</sub>*=*q*水流力12/2=3.47×12000/2=111.04×106 N·mm

综合考虑竖向荷载与水平荷载，根据《钢结构设计标准》，本码头横梁支架钢管桩桩身强度与稳定性按下式验算：

$$\frac{N}{\phi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_x (1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ex}})} + \eta \frac{\beta_{my} M_y}{\phi_{by} W_y} \leq [\sigma]$$

$$\frac{N}{\phi_y A} + \eta \frac{\beta_{tx} M_x}{\phi_{bx} W_x} + \frac{\beta_{my} M_y}{\gamma_y W_y (1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ey}})} \leq [\sigma]$$

式中：*N*—所计算构件段范围内的轴心压力，取*N*=544100N

*φ<sub>x</sub>*、*φ<sub>y</sub>*—对强轴*x—x*和弱轴*y—y*的轴心受压构件稳定系数，取*φ<sub>x</sub>*=*φ<sub>y</sub>*=0.498

*φ<sub>bx</sub>*、*φ<sub>by</sub>*—均匀弯曲的受弯构件整体稳定性系数，闭口截面取*φ<sub>bx</sub>*=*φ<sub>by</sub>*=1.0

*M<sub>x</sub>*、*M<sub>y</sub>*—所计算构件段范围内对强轴和弱轴的最大弯矩。取*M<sub>x</sub>*=111.04×106 =111.04×106 N·mm；

*N<sub>Ex</sub>*、*N<sub>Ey</sub>*—参数，*N<sub>Ex</sub>*=*N<sub>Ey</sub>*=π<sup>2</sup>2*EA*/(1.1λ<sub>x</sub><sup>2</sup>)=17171510N

*W<sub>x</sub>*、*W<sub>y</sub>*—对强轴和弱轴的毛截面模量，取*W<sub>x</sub>*=*W<sub>y</sub>*=2401010mm<sup>3</sup>

*γ<sub>x</sub>*、*γ<sub>y</sub>*—与截面模量相应的截面塑性发展系数，取*γ<sub>x</sub>*=*γ<sub>y</sub>*=1.15

*β<sub>mx</sub>*、*β<sub>my</sub>*—等效弯矩系数，悬臂构件取*β<sub>mx</sub>*=*β<sub>my</sub>*=1.0

*β<sub>tx</sub>*、*β<sub>ty</sub>*—等效弯矩系数，无端弯矩但有横向荷载作用，则取*β<sub>tx</sub>*=*β<sub>ty</sub>*=1.0

*η*—截面影响系数，闭口截面取*η*=0.7

以上各值代入公式计算得：

$$\frac{N}{\phi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_x (1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ex}})} + \eta \frac{\beta_{my} M_y}{\phi_{by} W_y}$$

=12.75 N/mm<sup>2</sup> < [σ]=215 N/mm<sup>2</sup>，强度与稳定性满足要求

$$\frac{N}{\phi_y A} + \eta \frac{\beta_{tx} M_x}{\phi_{bx} W_x} + \frac{\beta_{my} M_y}{\gamma_y W_y (1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ey}})}$$

=12.75N/mm<sup>2</sup> < [σ]=215 N/mm<sup>2</sup>，强度与稳定性满足要求

#### 四、结论

综上所述，本码头横梁支架计算各构件强度与刚度均满足规范要求，施工阶段结构安全可靠。同时针对部分验算结果说明如下：

(1) 计算结果是在理想化条件下得出的，比如立柱的稳定性是按照轴心受压构件的假定计算的，虽然计算时已经充分考虑了安全系数，但在支架的实际搭设过程中仍要严格按照设计和相关规范要求搭设支架，尽可能减少施工误差，保证支架相关构件的位置符合设计要求及检算条件，施工过程中，如现场布置方案与本方案不符，需要重新进行检算。

(2) 钢管桩入土深度为10m，施工前应进行试桩，确保桩基承载力要求。

(3) 施工时，钢管立柱应对钢管柱设置横、纵向[14连接系。

(4) I22a主梁、双拼 I40b工字钢横梁均按照连续梁形式进行计算，应尽量采用整根，否则须采用15mm厚钢板进行帮焊。

#### 结束语

码头施工受海浪和地形影响，无法搭设满堂支架进行施工，综合考虑成本、工期和海外工程材料进场难的特点，码头现浇横梁采用现有钢管桩以及在桩基顶设置扁担梁综合支撑搭建平台，施工安全质量以及成本可控，有良好的经济效益和适用性。

#### 参考文献

- [1] JTG D60-2015 《公路桥涵设计通用规范》
- [2] GB 50009—2015 《建筑结构荷载规范》
- [3] GB55001-2021 《工程结构通用规范》
- [4] GB 50017-2017 《钢结构设计规范》
- [5] JTG3362-2019 《公路桥涵地基与基础设计规范》
- [6] 《路桥施工计算手册》人民交通出版社（2001年10月第1版）