



大悬挑下横梁底模施工技术

付继承, 徐洲, 徐斌

(中交二航局第一工程有限公司, 湖北武汉430012)

摘要: 大悬挑下横梁结构在高桩码头中并不常见, 因其下横梁悬挑, 施工时对其底模支撑系统与常规下横梁有所不同, 难度较大。主要介绍码头工程水上大悬挑下横梁底模施工技术及底模支撑设计, 重点介绍下横梁施工过程中钢抱箍作承力支撑结构的设计及应用。

关键词: 高桩码头; 大悬挑下横梁; 底模支撑; 钢抱箍

中图分类号: U 656.1⁺13

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2015)08-0127-05

Construction technology of bottom formwork for large overhanging beam

FU Ji-cheng, XU Zhou, XU Bin

(The First Construction Company of CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan 430012, China)

Abstract: The large overhanging beam is not commonly used in the high pile wharf, because the beam is overhanging, the supporting system of the bottom formwork faces more difficulties than the conventional beam in construction. This paper mainly introduces the construction technology of the bottom formwork of large overhanging beam on water and the bottom formwork support design in the dock project, and describes the design and application of the steel hoop as bearing support structure in the bottom beam construction.

Keywords: high pile wharf; large overhanging beam; bottom formwork support; steel hoop

1 工程概述

泰州三福船厂码头工程港工建筑物由2[#]、3[#]码头平台和引桥组成。码头平台为高桩梁板式结构, 引桥为排架式架空结构。

码头平台总长398 m, 2[#]码头平台长198 m、宽31 m; 3[#]码头平台长200 m、宽23 m。排架间距均为7.45 m, 桩基采用 $\phi 800$ PHC桩。

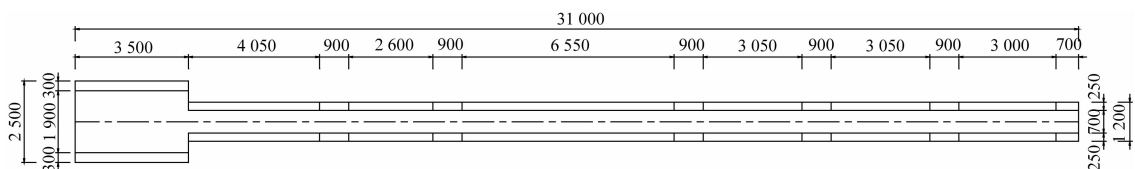
码头平台通过引桥与后方陆域连接, 引桥宽12 m。引桥排架间距为13 m, 基础为 $\phi 800$ mmPHC桩。

2 工程特点

泰州三福船厂码头工程靠船装置采用的是鼓形橡胶护舷, 下横梁靠船端均无靠船构件, 为一个悬挑结构, 码头横梁模板见图1。

3 底模支撑系统设计

为了加快施工进度, 下横梁底模支撑采用钢抱箍作为承力支撑, 比通常的焊吊筋要安全、经济、方便。底模支撑结构见图2, 钢抱箍结构见图3。



a) HL平面图

收稿日期: 2015-05-28

作者简介: 付继承(1974—), 男, 高级工程师, 从事港航工程施工技术管理工作。

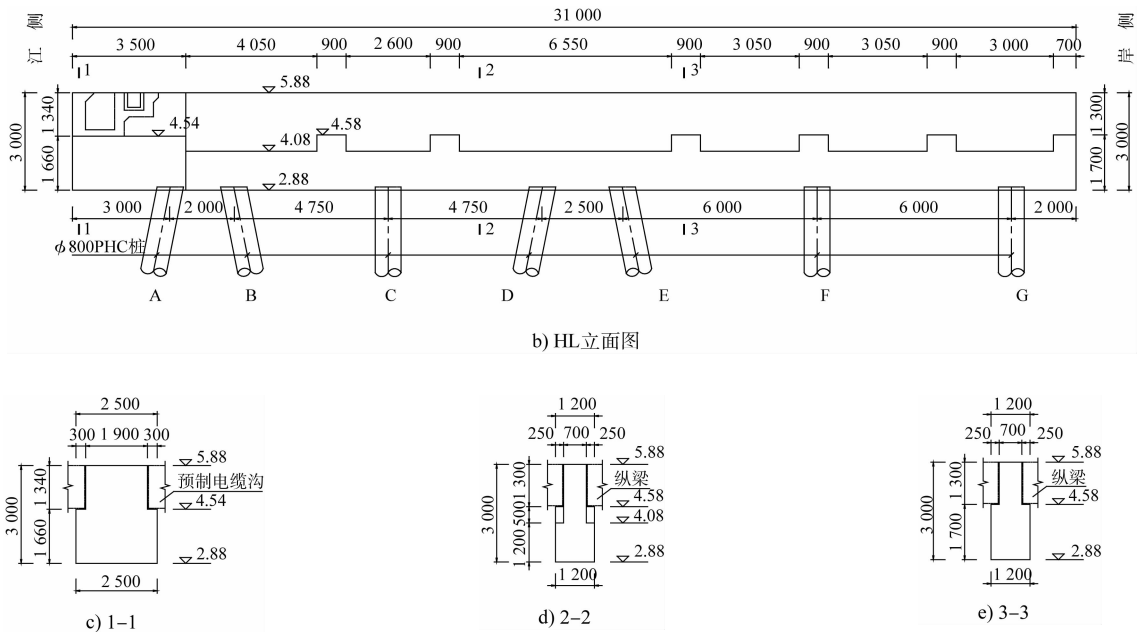


图1 码头横梁模板 (高程: m, 尺寸: mm)

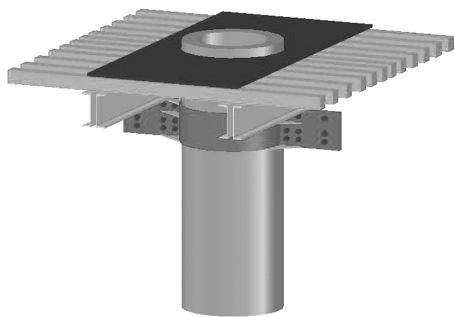


图2 下横梁底模

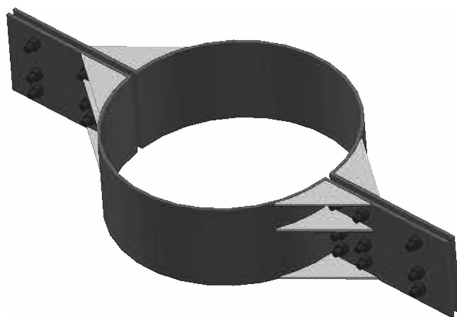


图3 抱箍

3.1 抱箍计算

钢抱箍采用两块壁厚 $t = 12$ mm 半圆弧钢带制成, 钢抱箍高度 $H = 35$ cm, 牛腿宽度为 50 cm, 采用 M24 高强螺栓连接。钢抱箍紧箍在 PHC 桩上产生摩擦力提供上部结构的支承反力, 是主要的支承受力结构。为了增加钢抱箍与桩壁间的接触

面积, 同时对桩壁混凝土面的保护, 在桩与抱箍之间设一层 2 ~ 3 mm 厚的橡胶垫, 橡胶与钢之间的静摩擦系数取 $\mu_1 = 0.75$, 橡胶与混凝土之间的静摩擦系数 $\mu_2 = 0.71$, 则 $\mu = \mu_1\mu_2 = 0.53$ 。

若下横梁重力全部由钢抱箍承受, 施工荷载取 $q_1 = 2.5$ kN/m², 钢筋混凝土自重 $q_2 = 25$ kN/m³, 底模等结构自重 $q_3 = 0.65$ kN/m², 则 A 桩处的抱箍受力最大, 所承受压力为 $G = 411$ kN。

桩壁对钢抱箍的摩擦力由钢抱箍对桩壁的压力产生, 压力可以近似看为沿桩周均匀分布, 其应力大小为:

$$\sigma_1 = KG/(\mu\pi 2rH) \quad (1)$$

式中: K 为荷载安全系数, $K = 1.2$; r 为桩基础直径, $r = 0.4$ m。计算得 $\sigma_1 = 1.1$ MPa, C80PHC-800 mmAB 型管桩的预压应力为 $[\sigma_c] = 5.56$ MPa, $\sigma_1 < [\sigma_c]$, 说明钢抱箍产生的压力不会对桩壁混凝土产生破坏影响。钢抱箍对桩壁的压力由钢带的内应力为:

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sigma_1 Br \sin\theta d\theta = \sigma_2 Bt \quad (2)$$

化简得 $\sigma_2 = r\sigma_1/t = 36.7$ MPa $< [\sigma] = 215$ MPa。

当 $\sigma_2 = 36.7$ MPa 时, 每个半圆弧钢带的伸长量为 $\Delta L = \pi r\sigma_2/E = 0.22$ mm, 则加工长度最长不

能超过 $L' = \pi r - \Delta L = 1\ 255.78\ \text{mm}$, 抱箍夹紧后两个半圆弧钢带之间间隙取 $20\ \text{mm}$, 则每个半圆弧钢带的长度 $L = 1\ 235.78\ \text{mm}$, 取 $L = 1\ 235\ \text{mm}$ 。

3.1.1 螺栓计算^[1]

钢抱箍所受的竖向压力由 8.8 s 级 M24 的高强螺栓的抗剪力承担, M24 螺栓的抗剪允许承载力:

$$[N_L] = 0.9n\mu P \quad (3)$$

式中: P 为高强螺栓的预拉力, 取 $155\ \text{kN}$; μ 为螺栓与钢板的摩擦系数, 取 0.35 ; n 为传力接触面数目, 取 1 。则 $[N_L] = 48.83\ \text{kN}$ 。

螺栓数目 m 为:

$$m = G/[N_L] \quad (4)$$

计算得 $m \approx 9$ 个, 取计算截面上的螺栓数目 $m = 10$ 个。

每条高强螺栓提供的抗剪力:

$$N_1 = G/10 \quad (5)$$

计算得 $N_1 = 41.1\ \text{kN} < [N_L] (= 48.83\ \text{kN})$, 能承受所要求的荷载。

钢抱箍钢带的内应力由 10 根 M24 的高强螺栓的拉力产生, 则每条螺栓拉力为:

$$F_1 = 2\sigma_2 Bt/10 \quad (6)$$

计算得 $F_1 = 30.8\ \text{kN} < 0.8P (= 140\ \text{kN})$, 能承受所要求的荷载。

由螺帽压力产生的反力矩为:

$$M_1 = \mu_1 F_1 L_1 \quad (7)$$

其中钢与钢之间的摩擦系数 $\mu_1 = 0.15$, 力臂 $L_1 = 0.02\ \text{m}$, $M_1 = 0.0924\ \text{kN}\cdot\text{m}$ 。

升角为 10° , 力臂 $L_2 = 0.012$, M_2 为螺栓爬升角产生的反力矩:

$$M_2 = \mu_1 F_1 \cos 10^\circ \cdot L_2 + F_1 \sin 10^\circ \cdot L_2 \quad (8)$$

计算得 $M_2 = 0.119\ \text{kN}\cdot\text{m}$, $M = M_1 + M_2 = 0.212\ \text{kN}\cdot\text{m}$, 所以要求螺栓的扭紧力矩 $M \geq 0.212\ \text{kN}\cdot\text{m}$ 。

3.1.2 抱箍壁计算^[1]

高强螺栓连接的轴心受拉构件的强度为:

$$\sigma_3 = F'/A_n = \sigma_2 Bt(1 - 0.5 m_1/m_2)/A_n \quad (9)$$

式中: F' 为轴心力; m_1 为第一列螺栓数目, 取

1 个; m_2 为抱箍一侧的螺栓数目, 取 5 个; A_n 为构件净截面积, $A_n = A - 3d_0 t = 25.64\ \text{cm}^2$; d_0 为螺栓孔直径, 取 $26\ \text{mm}$ 。计算得 $\sigma_3 = 54.11\ \text{MPa} < [\sigma] (= 215\ \text{MPa})$, 故抱箍在螺栓连接处正应力满足强度要求。

抱箍牛腿在型钢传递的荷载下为受弯构件, 在牛腿与箍体连接处的弯矩最大, 最大弯矩为 $M = 51.38\ \text{kN}\cdot\text{m}$ 。

此处抱箍牛腿截面抗弯刚度系数 $W_z = bh^2/6 = 0.25 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$, 弯曲正应力为 $\sigma_4 = M/W_z = 205.52\ \text{MPa} < [\sigma] (= 215\ \text{MPa})$, 故抱箍在牛腿与箍体连接处正应力满足强度要求。比较 σ_2 、 σ_3 、 σ_4 得抱箍壁的拉应力 $\sigma_{\max} = 205.52\ \text{MPa}$ 。

抱箍壁剪应力为:

$$\tau_{\max} = 3(G/4)/(2S_2) \quad (10)$$

式中: S_2 为抱箍纵向最薄弱截面面积, $S_2 = 0.0033\ \text{m}^2$ 。计算得 $\tau_{\max} = 46.7\ \text{MPa} < [\tau] (= 125\ \text{MPa})$, 满足要求。

根据第四强度理论进行强度校核: $\sigma_{r4} = (\sigma_{\max}^2 + 3\tau_{\max}^2)^{1/2} = 220.86\ \text{MPa} > [\sigma] (= 215\ \text{MPa})$, σ_{r4} 值超过许用应力 2.73% , 并未超过工程上通常允许的 5% 的范围, 故满足强度要求。

3.1.3 抱箍牛腿与箍体焊缝校核^[2]

接头开坡口并焊透, 其强度按对接接头计算, 焊缝金属截面等于母材截面, $S = \delta h$ 。接头开 I 型坡口, 此时产生的最大切应力的危险点在焊缝的最上端, 该点同时作用有两个切应力: 一个是由 $M = FL$ 引起的 τ_m , $\tau_m = 3FL/(0.7Kh^2)$; 另一个是由 $Q = F$ 引起的 τ_Q , $\tau_Q = F/(1.4Kh)$ 。

合成切应力 τ 的计算公式为:

$$\tau = \sqrt{\tau_m^2 + \tau_Q^2} \quad (11)$$

计算得: $\tau_m = 4\ 194/(0.7K)$, $\tau_Q = 2\ 936/(1.4K)$, $\tau = \sqrt{[4\ 194/(0.7K)]^2 + [2\ 936/(1.4K)]^2}$ 。利用强度校核公式 $\tau \leq [\tau]$, 焊缝金属的许用切应力为 $[\tau] = 10\ 000\ \text{N/cm}^2$, 即 $\tau \leq 10\ 000\ \text{N/cm}^2$, 解之得 $K \geq 0.65\ \text{cm}$, 则取 $K = 7\ \text{mm}$ 。即抱箍牛腿与箍体焊缝采用对接接头, 焊缝高度 $7\ \text{mm}$ 。由此可见抱箍的设计可以满足本工程所有横梁的要求。

3.2 大悬挑段下横梁底模支撑型钢计算

大悬挑长度为 $L_1 = 3.0\text{ m}$ ，宽 2.5 m ，高 1.66 m ，其钢筋混凝土自重为 $G_1 = 311.25\text{ kN}$ ，经计算 A 桩岸侧反压长度为 $L_2 = 7.7\text{ m}$ 。

在大悬挑处采用 8 根 [25a 槽钢作为底模支撑主梁，可近似认为槽钢在 A 桩处是固定的，取大悬挑段 3 m 长度为研究对象，经初步计算需对悬挑段进行反拉。

先在 A 桩两侧桩壁上竖立两根高 1.8 m 的 [25a 的槽钢，用钢筋进行焊接连接，组成门架，拉筋采用 $\phi 20$ 螺纹钢，一端焊接在门架顶部，距离底模支撑槽钢高度为 1.9 m ，另一端焊接在组合好的两根背靠背的支撑槽钢上，4 组背靠背槽钢共需 4 根拉筋，焊接点距离 A 桩抱箍支撑点距离为 1.9 m ，此时拉筋成 45° 角。在 A 桩靠岸侧也对应设置拉筋，拉筋一端焊接在门架上，另一端固定在 B 桩处的抱箍上，行成对门架的反拉。

$\phi 20$ 螺纹钢抗拉强度设计值为 $f_y = 300\text{ N/mm}^2$ ，截面面积为 $A_s = 314.2\text{ mm}^2$ ，则单根 $\phi 20$ 螺纹钢能承受的拉力为 $F = f_y A_s = 94.26\text{ kN}$ ，单根 $\phi 20$ 螺纹钢完全受力时对底模支撑槽钢在反拉点产生的竖向拉力为 $P_1 = F \sin 45^\circ = 66.6\text{ kN}$ 。取大悬挑段 3 m 长度为研究对象，简化后的计算模型见图 4。

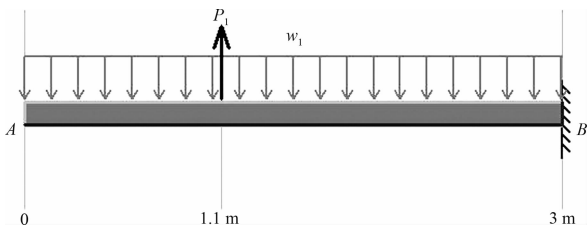


图 4 计算模型

用材料力学计算软件对简化模型进行受力计算，得模型的剪力、弯矩、挠度（图 5~7）。

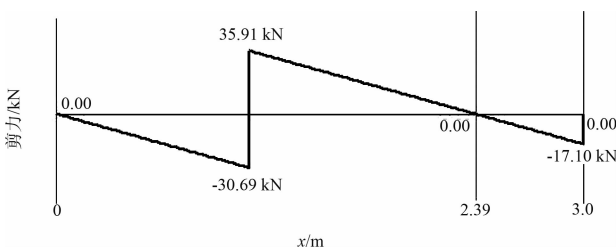


图 5 剪力

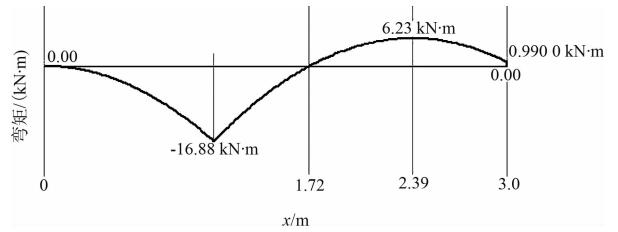


图 6 弯矩

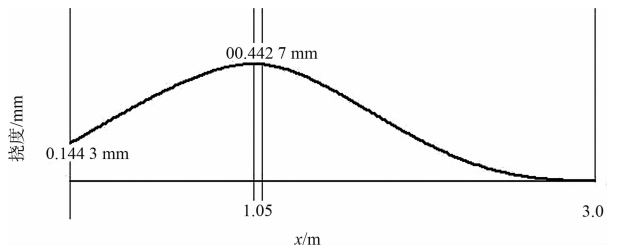


图 7 挠度

可见，最大剪力和弯矩发生在反拉点处，最大挠度发生在跨中。计算得 $M_{\max} = -16.88\text{ kN}\cdot\text{m}$ ， $N_{\max} = 35.91\text{ kN}$ ， $W_z = 539.2 \times 10^{-6}\text{ m}^3$ ， $S_z^* = 312.2 \times 10^{-6}\text{ m}^3$ ， $I_z = 67.38 \times 10^{-6}\text{ m}^4$ ， $f_{\max} = 0.4427\text{ mm}$ 。

槽钢刚度校核：计算模型悬挑端的许可挠度为： $[f] = 12\text{ mm}$ ，当拉筋完全受力时产生向上的挠度，挠度接近于 0，此时挠度在许可挠度范围内，刚度满足要求。

槽钢弯曲正应力强度校核： $\sigma_{\max} = M_{\max} / W_z = 31.3\text{ MPa} < [\sigma] (= 215\text{ MPa})$ ，满足要求。

槽钢弯曲剪应力强度校核： $\tau_{\max} = (N_{\max} S_z^*) / (I_z d) = 11.9\text{ MPa} < [\tau] (= 125\text{ MPa})$ ，满足要求。

根据第四强度理论进行强度校核： $\sigma_{r4} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{1/2} = 37.5\text{ MPa} < [\sigma] (= 170\text{ MPa})$ ，满足强度要求。

对于大悬挑的计算是在拉筋完全受力的情况下，实际上钢筋在受力时不一定会完全受力，刚度和强度能满足要求。

由此可见大悬挑段下横梁选用 8 根 [25a 槽钢作为底模支撑主梁能够满足要求。

4 底模施工

1) 抱箍和支撑主梁设计好之后进行施工，在沉桩结束后，根据横梁底部高程推算出抱箍顶面高程，在 PHC 桩上精确标记高程。

2) 由于抱箍很重, 可先在桩基上安装一层夹桩木作为临时支撑, 也便于微调抱箍高程。抱箍采用人工安装, 螺栓扭紧力矩 $M \geq 0.212 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

3) 抱箍安装好后将槽钢放置到抱箍牛腿上, 微调槽钢与抱箍间的间隙, 使槽钢保持水平高程位置, 然后将槽钢与槽钢、槽钢与抱箍通过钢筋或钢板焊接起来, 保持整体稳定性。

4) 在槽钢上铺设 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 木方, 木方与槽钢之间用铁丝绑扎固定。固定过程中同时将木方顶部调平, 木方固定完成后进行底模测量放线, 测出上下游边线及江安侧沿线, 用墨线在木方上弹出边沿线。

5) 按边沿线尺寸铺设底模板, 底模板为 2 cm 厚竹胶板, 用铁钉固定在木方上, 拼缝要求严密, 且中间施工双面胶带, 防止混凝土浇筑时漏浆。然后进行钢筋绑扎等后续工序。

5 结语

泰州三福船厂码头下横梁设计采用大悬挑结构, 最大悬挑长 3 m , 其结构与普通高桩码头下横梁施工相比, 其支撑系统更为复杂。实施中采用钢抱箍作为底模受力支撑结构, 并根据大悬挑结构受力特点, 进行结构设计, 确保工程施工的顺利完成。

高桩码头下横梁施工常用的工艺是在桩身上焊钢牛腿或焊吊筋作为底模支撑结构, 但该结构身不利于防腐, 而钢抱箍承力结构耐久性更高, 可对不同的工程结构特点、荷载大小进行专题的设计与验算, 确保工程结构的安全与经济合理。

参考文献:

[1] 雷国刚, 徐林, 胡宁, 等. 钢管码头横梁底模支撑结构设计[J]. 中国水运, 2010(10): 221-224.
 [2] GB 50017—2003 钢结构设计规范[S].

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 115 页)

2.2.4 实施结果

采用岩面理坡栽桩技术解决了桩位斜坡、裸露岩层问题, 避免护筒下放后产生滑移及倾斜, 其效果明显; 采用框式导向架对钢护筒进行 3 层限位, 能保证护筒在下沉跟进过程中平面位置及垂直度满足要求; 采用钢制替打跟进技术使护筒在跟进过程中能均匀受力, 使护筒底口不卷边、不漏浆。通过以上处理方式使超长、大直径灌注型嵌岩桩施工得以实施, 使钢护筒的平面位置误差全部控制在 3 cm 以内, 垂直度精度在 0.3% 以内, 平均单桩成孔时间缩短 2.1 d 。

3 结语

1) 将平台设置成马凳式, 并在平台的辅助桩之间设置剪刀撑, 将辅助桩与工程桩相连, 可有效地提高平台的稳定性, 确保施工安全。

2) 通过预先凿平岩面, 设置导向架和替打, 使钢护筒顺利跟进入岩层, 大大降低施工成本, 提高施工效率。

参考文献:

[1] JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S].
 [2] JTS 257—2008 水运工程质量检验标准[S].

(本文编辑 郭雪珍)