

· 港口 ·

高桩码头中现浇横梁设计浅析

王秀峰

(海军工程设计研究院, 北京 100070)

摘要: 根据以往多个高桩承台式码头设计实例, 结合港口工程技术规范中有关深梁设计要求, 对现浇横梁进行设计比较, 提出在横梁设计中的有关问题。

关键词: 港口工程; 高桩码头; 深受弯构件; 配筋率

中图分类号: U656.1 13

文献标识码: B

文章编号: 1002-492(2001)12-0008-05

An Elementary Analysis of In-Situ Beams Design for High-Pile Wharf

WANG Xiu-feng

(Design and Research Institute for Navel Engineering, Beijing 100070, China)

Abstract: Based on multiple design examples of high-level deck wharf supported on piles and in combination with the design requirements on deep beams stipulated in the technical code for port engineering, a comparison on design of in-situ beams is carried out and some problems concerning beam design is advanced.

Key words: port engineering; high-pile wharf; seriously bending member; reinforcement ratio

笔者曾设计过大中型高桩承台式梁板码头多项, 这些码头的横梁均属现浇倒“T”型截面梁, 是按弹性支承连续梁设计的, 横梁配筋设计是按普通受弯构件进行配筋计算。通常的高桩码头设计中, 桩间距与现浇横梁高度的比值, 即跨高比 l_0/h 一般均小于 5。在《港口工程混凝土结构设计规范》(JTJ267-98)(以下简称规范)中规定, 梁跨高比 $l_0/h \leq 5$ 的钢筋混凝土梁应按深受弯构件设计。而深受弯构件同普通受弯构件在破坏机理及配筋计算方面是不同的, 下面主要是针对高桩码头现浇横梁配筋计算, 来论述和比较两种不同配筋计算理论的差异, 提出有关见解。

1 工程实例

1.1 码头结构断面

该码头采用高桩梁板排架式结构(图 1), 排架间距

8m, 每个排架下设 4 根基桩(2 根直桩, 1 对叉桩), 基桩采用先张法预应力高强钢筋混凝土管桩, 外径为 1000mm, 壁厚 130mm。上部结构由预制钢筋混凝土轨道梁、管沟梁、纵梁、迭合板及现浇面层组成。每榀排架的横梁为倒“T”型结构, 下横梁宽 1.6m、高 1.2m; 上横梁宽 1m、高 1.4m。

1.2 横梁受力情况

基桩断面积 = 0.355m²

横梁荷载 = 83kN/m

船舶冲击力 = 300kN

水平方向系缆力 = 21kN

$P_1 = \text{轨道梁} + \text{前边梁} + \text{测磁桁车荷载} + \text{面板荷载}$

$= 136 + 118 + 20 + 64 = 518\text{kN}$

$P_2 = \text{系船柱荷载} = 116\text{kN}$

$P_3 = \text{电缆立柱荷载} + \text{电缆荷载} = 37 + 3 = 40\text{kN}$

$P_4 = \text{管沟荷载} + \text{面板荷载} + \text{电缆荷载} = 308 + 59 + 64$

收稿日期: 2000-12-18

作者简介: 王秀峰(1965-), 男, 黑龙江双城人, 高级工程师, 从事港口工程设计。

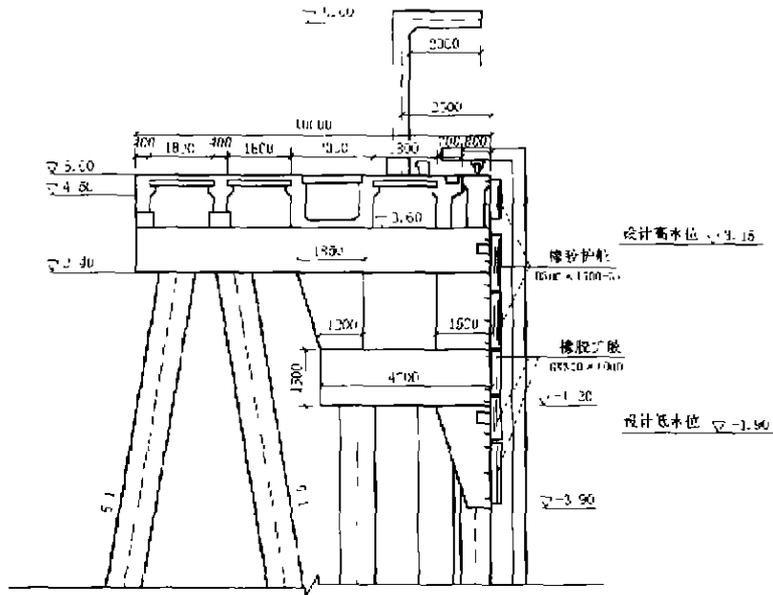


图 1 码头结构断面

$+38 = 469\text{kN}$

$P_5 = \text{后边梁荷载} + \text{面积荷载} = 79 + 59 = 138\text{kN}$

$P_6 = \text{纵梁荷载} + \text{面板荷载} = 85 + 118 = 203\text{kN}$

1.3 横梁内力计算

横梁计算简图及横梁截面见图 2 及图 3。

根据以上作用情况, 计算得各梁内力值见表 1。

f_c —混凝土抗压强度设计值。

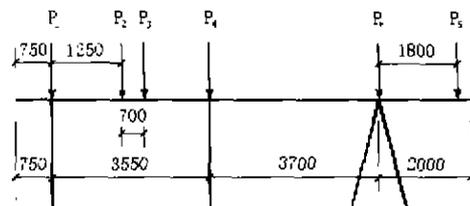


图 2 横梁计算简图

2 按普通受弯构件进行配筋计算

2.1 正截面受弯承载力计算

以梁 3 配筋计算为例。

(1) $M_{\text{中}} = 353(\text{kN}\cdot\text{m})$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_s f_y h_0}$$

式中: A_s —纵向受拉钢筋截面积;

f_y —受拉钢筋抗拉强度设计值。

γ_s —系数, 根据 $\alpha_s = M/f_c b h_0^2 = 353 \times 10^6 / 17.5 \times$

$1000 \times 2450 \times 2450 = 0.0034$, 查表得 $\gamma_s = 0.998$;

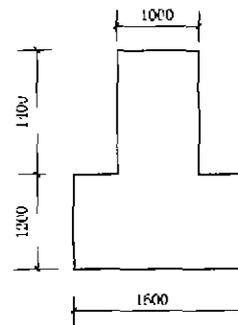


图 3 横梁截面

表 1 横梁内力值

项目	梁 1		梁 2		梁 3		梁 4	
	弯矩(kN·m)	剪力(kN)	弯矩(kN·m)	剪力(kN)	弯矩(kN·m)	剪力(kN)	弯矩(kN·m)	剪力(kN)
结果	0	0	457	358	353	677	0	468
	-651	477	-651	197	-634	814	-634	132

注: 弯矩中上为跨中正弯矩, 下为支座负弯矩; 剪力中上为梁左端剪力, 下为梁右端剪力。

$$A_s = 353 \times 10^6 / 0.998 \times 310 \times 2450 = 465.71 \text{ mm}^2$$

按最小配筋率 $\mu = 0.15\%$ 计算:

$$A_s = 0.15\% \times 2450 \times 1000 = 3675 \text{ mm}^2$$

取 8 ϕ 25 $A_s = 3927 \text{ mm}^2$

(2) $M_{\text{支}} = -634 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$

$$\alpha_s = 634 \times 10^6 / 17.5 \times 1600 \times 2450 \times 2450 = 0.003$$

查表得 $\gamma_s = 0.998$;

$$A_s = 634 \times 10^6 / 0.998 \times 310 \times 2450 = 836.43 \text{ mm}^2$$

按最小配筋率 $\mu = 0.15\%$ 计算:

$$A_s = 0.15\% \times 2450 \times 1000 = 3675 \text{ mm}^2$$

取 8 ϕ 25 $A_s = 3927 \text{ mm}^2$

以上两种计算结果配筋率均小于最小配筋, 故根据规范要求应按最小配筋率进行配筋。

则实际配筋量 $A_s = 3927 \text{ mm}^2$ 。

2.2 斜截面承载力计算

$$V_c = 0.07\alpha_h f_c b h_0$$

式中: V_c —混凝土的受剪承载力;

α_h —高度修正系数,

$\alpha_h = \sqrt{800/h} = 0.853$ (截面高度 $h = 2600 \text{ mm}$, 根据规范规定, 当 $h > 1100 \text{ mm}$ 时, 按 $h = 1100 \text{ mm}$ 计算)。

$$Q = 814 \text{ kN}$$

$$V = Q = 814 \text{ kN}$$

$$V_u = V_c / \gamma_d$$

$$V_u = 2560.1 / 1.1 = 2327.3 \text{ kN} > V = 814 \text{ kN}$$

式中: V_u —受剪承载力设计值;

γ_d —结构系数, 取 1.1。

根据规范规定, 当 $V_c / \gamma_d > V$ 时, 箍筋间距应小于 500 mm, 直径不小于 6 mm。

则按构造配箍筋为: 4 ϕ 10@400。

3 按深受弯构件理论进行配筋计算

3.1 深受弯构件基本概念

根据规范表述: 对跨高比 $l_0/h < 5$ 的钢筋混凝土板、梁应按深受弯构件进行计算, 此处 h 为构件的截面高度, l_0 为计算跨度。

3.2 计算公式

(1) 深受弯构件正截面的受弯承载力按下式计算:

$$M_u = f_y A_s z \quad (1)$$

式中: M_u —受弯承载力设计值 ($\text{N}\cdot\text{mm}$);

z —内力臂 (mm)。

(2) 对简支和连续的深受弯构件跨中截面:

$$z = [0.60 + 0.13 \frac{l_0}{h} - 0.01(\frac{l_0}{h})^2] (1 - 0.5\xi) h_d \quad (2)$$

$$h_d = h - \frac{1}{4} (h - h_0) (\frac{l_0}{h} - 1) \quad (3)$$

$$\xi = \frac{f_y A_s}{bh_d f_c} \quad (3)$$

式中: h_d —截面计算高度 (mm);

h_0 —按一般受弯构件集中配置受力钢筋时截面的有效高度 (mm);

ξ —配筋特征值。

(3) 对连续的深受弯构件中间支座截面:

$$z = [0.055 + 0.14 \frac{l_0}{h} - 0.01(\frac{l_0}{h})^2] (1 - 0.5\xi) h_d \quad (5)$$

(4) 均布荷载作用下深受弯构件受剪承载力按下列公式计算:

$$V_u = \frac{1}{\gamma_d} [0.07\alpha_h C_1 f_c b h_d + \alpha_{sv-1}] \frac{A_{sv} f_{yv} h_d}{S_h} + \alpha_{sh-1} \frac{A_{sh} f_{yh} h_d}{S_v} \quad (6)$$

$$C_1 = 1.9 - 0.18 \frac{l_0}{h}$$

$$\alpha_{sv-1} = 0.31 \frac{l_0}{h} - 0.30$$

$$\alpha_{sh-1} = 1.25 - 0.25 \frac{l_0}{h}$$

式中: V_u —斜截面的承载力设计值 (N);

C_1 —混凝土抗剪强度增强系数;

α_{sv-1} —竖向分布钢筋抗剪强度系数;

α_{sh-1} —水平分布钢筋抗剪强度系数;

A_{sv} —间距为 S_h 的同一排竖向分布钢筋的截面面积 (mm^2);

A_{sh} —间距为 S_v 的同一层水平分布钢筋的截面面积 (mm^2);

f_{yv} 、 f_{yh} —分布钢筋抗拉强度设计值 (MPa);

S_h —竖向分布钢筋的水平间距 (mm);

S_v —水平分布钢筋的竖向间距 (mm)。

3.3 正截面受弯承载力计算结果

(1) 跨中截面: 通过计算得:

$$l_0 = 3700 \text{ mm} \quad h = 2600 \text{ mm} \quad \text{则} \quad h_d = 2589 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{f_y A_s}{bh_d f_c} = \frac{310 A_s}{1100 \times 2589 \times 17.5} = 6.84 \times 10^{-6} A_s$$

$$z = [0.60 + 0.13 \frac{l_0}{h} - 0.01(\frac{l_0}{h})^2] (1 - 0.5\xi) h_d$$



表 2 梁 3 配筋结果对照

序号	项目	按普通受弯构件计算	按深受弯构件计算
1	跨中截面计算配筋量(mm ²)	465.71	741.9
2	最小配筋率(%)	0.15	0.15
3	按最小配筋率配筋量(mm ²)	3 675	3 675
4	支座截面计算配筋量(mm ²)	836.43	1 086.3
5	最小配筋率(%)	0.15	0.15
6	按最小配筋率配筋量(mm ²)	3 675	3 675
7	竖向分布钢筋量(mm ²)	按构造配筋	5 550(按最小配筋率 0.15% 配筋)
8	水平分布钢筋量(mm ²)	按构造配筋	5 200(按最小配筋率 0.20% 配筋)

$$= 1 539.8 - 0.00527A_s$$

$$M_u = 353 \text{ (kN} \cdot \text{m)} \quad \text{则 } 353 \times 10^6 = 310 \times (1539.8$$

$$- 0.00527A_s) \times A_s$$

$$1.634A_s^2 - 4.77 \times 10^5 A_s + 353 \times 10^6 = 0 \quad (7)$$

解方程(7)得: $A_s = 741.9 \text{ mm}^2$

(2) 支座截面:

$$l_0 = 3 700 \text{ mm} \quad h = 2 600 \text{ mm} \quad \text{则 } h_d = 2 598 \text{ mm}$$

$$\xi = \frac{f_y A_s}{bh_d f_c} = \frac{310 A_s}{1 600 \times 2 589 \times 17.5} = 4.28 \times 10^{-6} A_s$$

$$z = [0.55 + 0.14 \frac{l_0}{h} - 0.01 (\frac{l_0}{h})^2] (1 - 0.5\xi) h_d$$

$$= 1 887 \times (1 - 2.14 \times 10^{-6} A_s) = 1 887 - 0.00404 A_s$$

$$M_u = -634 \text{ (kN} \cdot \text{m)} \quad \text{则 } 634 \times 10^6 = 310 (1887 - 0.00404$$

$$A_s) \times A_s$$

$$1.2524 A_s^2 - 5.85 \times 10^5 A_s + 634 \times 10^6 = 0 \quad (8)$$

$$\text{解方程(8)得: } A_s = 1 086.3 \text{ mm}^2$$

3.4 斜截面受剪承载力计算结果

均布荷载作用下斜截面受剪承载力:

$$V_u = (0.07 \alpha_n C_1 f_t b h_d) / \gamma_d$$

$$\alpha_n = \sqrt{800/h} = 0.853$$

$$C_1 = 1.9 - 0.18 \times 3 700 / 2 600 = 1.644$$

$$V_u = 0.07 \times 0.853 \times 1.644 \times 17.5 \times 1 000 \times 2 589 / 1.1$$

$$= 4 043.21 \text{ kN}$$

$$Q = 814 \text{ kN}$$

$$V_u = 4 043 \text{ kN} > V = Q = 814 \text{ kN}$$

可按构造配置竖向和水平向分布钢筋。

4 计算结果比较

(1) 梁 3 配筋结果对照见表 2。

(2) 梁 3 实际配筋对照见图 4。

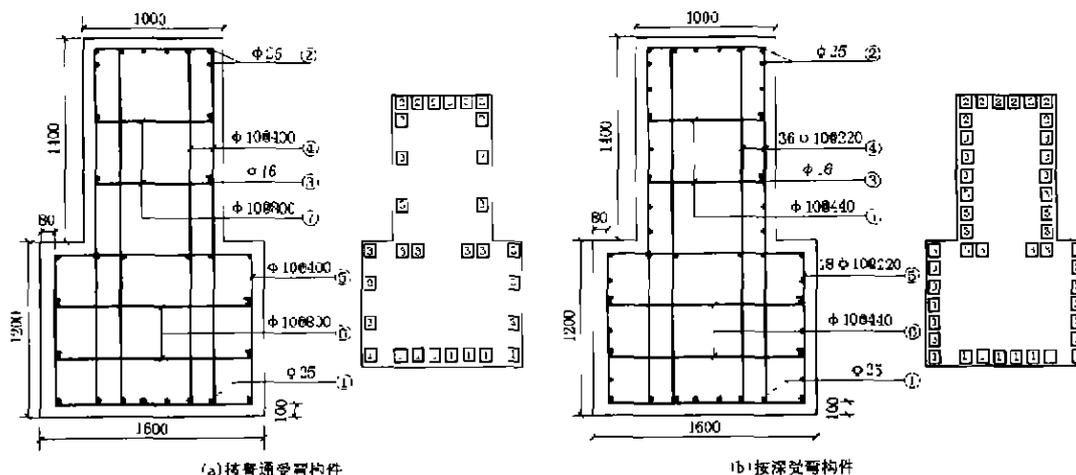


图 4 配筋断面

5 比较结果及说明

(1)从表2和图4可见,由于根据本实例中横梁内力计算所配钢筋量均未超过规范所规定的最小配筋率,故在配筋中均按构造及最小配筋进行设计。

(2)虽然从图4中可见,按普通受弯构件和按深受弯构件设计时,承受支座作用效应的上部主筋和承受跨中作用效应的下部主筋相同,这是由于均按最小配筋率设计的结果。但根据计算所得配筋量比较,可以表明:跨中截面按深受弯构件计算配筋量比按普通受弯构件计算配筋量增加59.3%;支座截面按深受弯构件计算配筋量比按普通受弯构件计算配筋量增加29.87%。

(3)按普通受弯构件计算,当箍筋(竖向分布钢筋)按构造配置时,规范仅对箍筋直径和间距提出要求。规范规定当梁高大于800mm时箍筋直径不小于8mm,间距不大于500mm。所以本例中实际设计为 $4\phi 10@400$ 。对水平分布的构造钢筋(即③号筋),规范仅对钢筋直径和间距提出要求,即当梁高大于1600mm时,构造钢筋直径不小于12mm,沿梁两侧间隔300~400mm设置。本例中实际设计为 $14\phi 16$ 。

(4)按深受弯构件计算时,其竖向分布钢筋(箍筋)是通过计算而定的,当按构造配置时,规范是对最小配筋率提出要求。规范规定当采用I级钢时,最小配筋率不小于0.15%。所以本例中实际设计为 $4\phi 10@220$ 。对水平分布钢筋是按计算结果所设,并且规范规定当采用I级钢时,配筋不得小于最小配筋率0.20%。则在本例中,实际配筋为 $28\phi 16$ 。

(5)根据本实例中设计结果得出,按深受弯构件计算所配置的竖向分布钢筋量比按普通受弯构件计算配置的

箍筋量增加81.8%;而水平分布筋则增加50%。

6 结论

(1)对本例中梁3的配筋量而言,当按深受弯构件设计时,梁3长度为3700mm,总配置钢筋量为616.82kg;当按普通受弯构件设计时,总配置钢筋量为516.73kg。前者比后者增加钢筋量约为20%,如果主筋是按计算所得,则所增加的钢筋量还远大于本例梁3的情况。

(2)由于两种不同的计算理论,对实际梁的配筋量和设计计算复杂性而言,均有较大差别,所以对高桩承台式码头中现浇横梁,明确按哪一种计算理论来设计,对工程造价和设计及施工都有重要意义。

(3)笔者认为:在规范中对于深梁的定义,仅从梁的跨高比 $l_0/h \leq 5$ 这一个指标来定,对现浇式横梁,尚不够完善。因为现浇式横梁一般其宽高比较预制式横梁或其他梁大,其破坏状况同规范中所描述的破坏机理也有所不同。通过多项实际工程中的现浇横梁的使用情况和破坏情况表明,以往按普通受弯构件设计的现浇横梁,也均未呈现同深受弯构件破坏机理相似的现象。

(4)鉴于两种不同的设计理论,对工程造价和设计施工都有很大的影响,所以笔者认为,规范中对深受弯构件的定义应当给出进一步的说明。另外,在实际工程设计时,当遇到高桩承台式码头中的现浇横梁设计时,当有多项实际工程实例经验时,笔者认为,可将现浇横梁按普通受弯构件进行配筋设计。

本文中的有关结论,属笔者通过多项工程实例的设计及码头破坏分析和处理结果总结而得,如有不对之处,希望能得到各方面的指正。

