



整体预制横梁结构应用技术

徐炯钢¹, 顾祥奎², 赵 敏²

(1. 中信港口投资有限公司, 浙江 宁波 315812; 2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 传统高桩梁板式码头上部结构常规采用现浇上下横梁、桩帽节点加预制或现浇横梁等结构形式, 现场混凝土浇筑量大、工序多、工期较长。结合上海某水上观景平台设计实例, 提出一种预留桩基孔洞并预埋支撑工字钢的整体预制横梁结构, 取消现浇桩帽结构, 解决了预制横梁施工期搁置在桩基上的失稳问题和施工期预制横梁的结构安全问题, 实现预制横梁与桩基结构的直接连接。在保证结构整体性的同时, 提高了上部结构的预制装配率, 大幅减少现场混凝土浇筑量, 施工环保, 工期更短, 可为类似工程提供参考借鉴。

关键词: 高桩梁板式码头; 整体预制横梁; 预制装配率; 施工环保

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0055-04

Application technology of monolithic prefabricated-beam structure

XU Jionggang¹, GU Xiangkui², ZHAO Min²

(1. CITIC Port Investment Co., Ltd., Ningbo 315812, China; 2. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Cast-in-place upper and lower beams, pile cap joints and precast or cast-in-place beams are commonly used in the superstructure of the traditional high-pile beam-type wharf, which has large concrete pouring volume, many processes and a long construction period. Based on the design example of a Shanghai water viewing platform, an integral prefabricated beam structure with reserved pile foundation holes and embedded support I-beams is proposed, and the cast-in-place pile cap structure is eliminated. The instability problem of the prefabricated beam on pile foundation and the structural safety problem of the prefabricated beam during construction are solved, and the direct connection between the prefabricated beam and the pile foundation structure is realized. While ensuring the integrity of the structure, the precast assembly rate of the superstructure is improved, and the amount of concrete poured on site is greatly reduced, the construction is environmentally friendly and the construction period is shorter, which can provide reference for similar projects.

Keywords: high-pile beam-type wharf; monolithic prefabricated-beam; prefabricated assembly rate; construction environmental protection

传统高桩梁板式上部结构主要分为现浇上下横梁、桩帽节点+预制横梁、桩帽节点+现浇横梁等结构形式。现浇上下横梁的优点在于结构整体性好, 各构件单元连接相对可靠, 且受力均匀明确、变形同步协调。但其下横梁一般采用整体浇筑方式, 存在上横梁浇筑时混凝土受约束较大、

易产生裂缝的问题, 若不及时处理将影响结构耐久性。同时, 现场混凝土浇筑工作量大, 工序略多, 工期较长。桩帽节点结构可有效减少上部结构高度, 抬高横梁结构底高程, 受水流、波浪影响小。横梁在预制厂预制完成后直接搁置在桩帽节点上, 继而安装纵向梁系, 再进行上桩帽的现

收稿日期: 2022-11-15

作者简介: 徐炯钢 (1982—), 男, 工程师, 从事港口码头的投资运营管理。

浇施工，形成连续的纵横梁系。由于可利用下桩帽作为底模，现场支模工作很小，现场浇混凝土量也较小，施工速度快，工期较短。因此，考虑施工便利性及施工进度，部分工程采用桩帽节点+预制横梁的结构形式^[1-2]。

上海某水上观景平台工程要求充分考虑水域生态环境的保护，尽量减少现浇混凝土工程量，因此要求在采用预制横梁结构的同时取消现浇桩帽结构，将预制横梁直接与桩基连接。本文对整体预制横梁结构进行设计分析，为类似工程提供参考借鉴。

1 工程概况

本工程新建 1 座高桩梁板式水上观景平台，位于上海市黄浦江中游，拟建于江浦路越江隧道的北岸。平台是原上海港机厂码头的原位改造^[3]，原港机厂码头下方有隧道穿过，因此需拆除老结构桩基及上部结构，错开隧道位置并重新施打桩基，建造上部结构，形成水上观景平台。

该水工建筑物结构安全等级为二级，新建结构设计使用年限为 50 a。建筑物主尺寸为原港机厂码头拆除复建平面尺寸：长 56.00 m，宽 30.03 m，顶高程 5.10~5.12 m。1) 设计荷载。结构自重力均载为 20 kPa。2) 设计水位。设计高水位 4.10 m，设计低水位 1.14 m，极端高水位 5.92 m（重现期为 50 a 的年极值高水位），极端低水位：0.08 m（重现期为 50 a 的年极值低水位）。3) 波浪、水流。由于工程位于黄浦江内，波浪水流较小，可忽略不计。4) 工程地质。工程区场地土层广泛分布有较厚的黏土层，其中第 7 层土为灰色轻亚黏土及亚砂土，为本工程桩基持力层^[4]。

2 水工建筑物结构形式

上海港机厂码头拆除复建后作为人行景观步道使用，结构形式为高桩梁板式结构。因隧道越江范围内不得有桩基，排架间距根据隧道单宽确定为 21.5 m，设计桩基位于越江隧道边线 3.0 m 范围外，对隧道施工及使用基本无影响。桩基采

用直径 1.2 m 的钢管直桩，每榀排架 4 根桩，桩基持力层选为第 7 层灰色轻亚黏土及亚砂土。上部结构为整体预制下横梁加现浇上横梁、预应力空心板，并通过现浇面层连成整体。下游侧通过预制加现浇叠合板以简支形式与老码头衔接（不在隧道越江范围内的老码头予以保留）。平台断面见图 1^[5]。

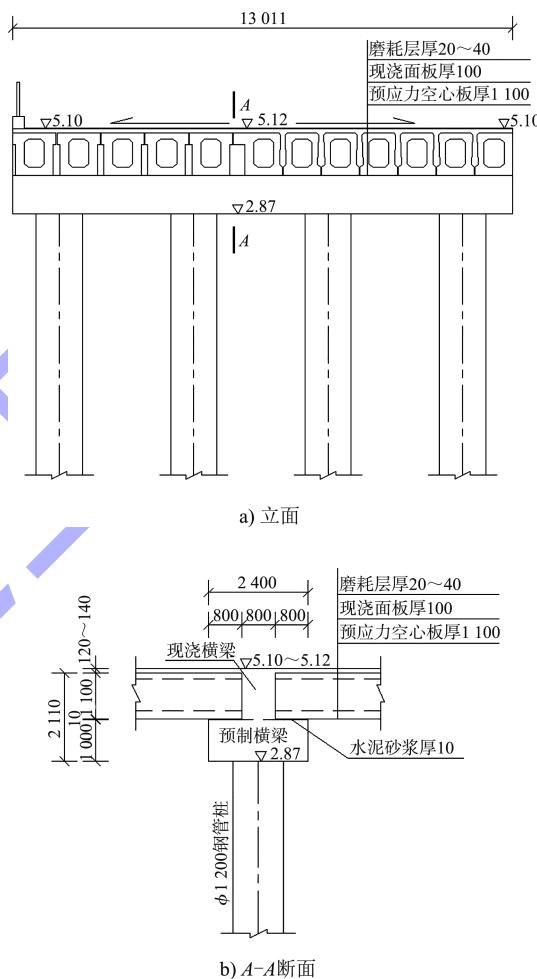


图 1 平台结构 (高程: m; 尺寸: mm)

3 关键技术问题

本工程桩基与横梁的连接形式不同于常规的通过现浇桩帽节点或直接现浇横梁的包覆性刚接形式，需要将两种预制构件（桩基及预制横梁）通过较少的现浇混凝土进行有效连接。全直桩的桩顶与横梁必须以刚接形式连接，否则无法有效限制桩底弯矩及水平位移，由此工程面临以下 3 个技术难题：1) 预制横梁施工期搁置在桩基上引起失

稳的问题; 2) 施工期搁置阶段横梁结构的安全问题; 3) 现浇节点的设计。

4 结构设计

4.1 横梁及桩基结构

针对上述问题, 工程的预制下横梁采用在桩位处通体开孔的形式。预制下横梁宽 2 400 mm, 高 1 000 mm, 沿轴线设置 4 个 $\phi 1 600$ mm 开孔, 开孔位置与桩位一致。为避免钢管桩壁直接与开孔处横梁主筋接触引起施工期钢筋应力过大, 设计在横梁底部通长预埋钢扁担, 采用 25a 号工字钢, 底部翼缘底高程低于横梁底部主筋, 箍筋在工字钢体侧穿过。钢扁担作为预制横梁的直接搁置点位于钢管桩上。钢管桩伸入横梁 100 mm, 桩顶侧面现场焊接 4 个钢牛腿, 并通过一块圆弧形钢板将钢牛腿连接, 钢板可作为现浇节点的底模。预制横梁吊装完成后, 现场浇筑桩芯混凝土及现浇横梁开孔, 实现桩与横梁的连接。预制下横梁结构及桩顶结构见图 2、3。

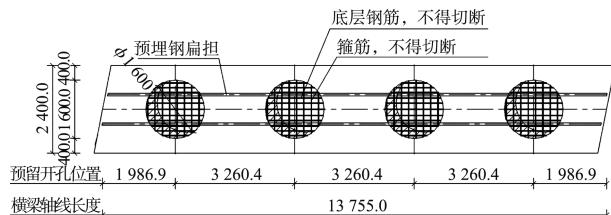


图 2 下横梁平面 (单位: mm)

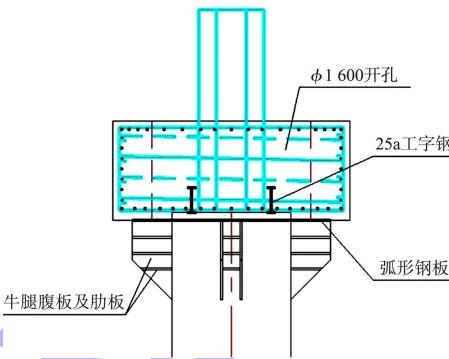


图 3 下横梁配筋及桩顶结构 (单位: mm)

4.2 构件强度验算

牛腿顶部弧形钢板起到底模板作用, 除排架、桩基、横梁、预应力空心板外, 另就钢扁担结构强度进行复核计算, 见图 4。

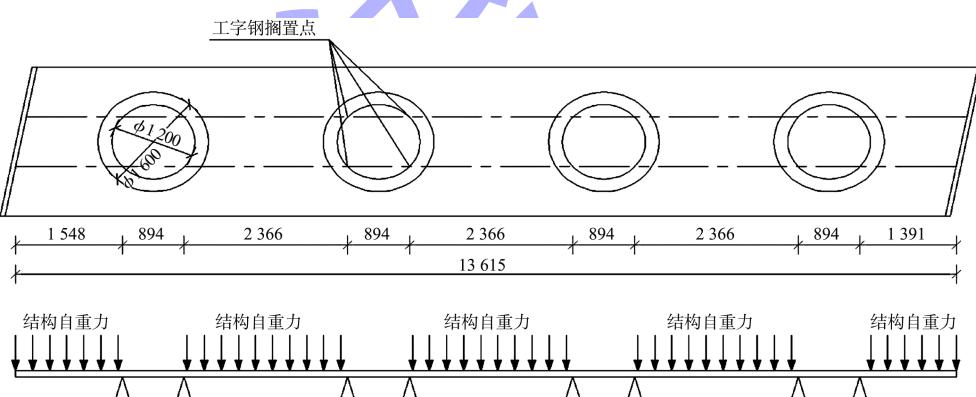


图 4 钢扁担计算 (单位: mm)

4.2.1 上部荷载

施工期上部荷载考虑预制梁自重力, 受打桩偏位等影响, 易导致横梁绕中心偏转。考虑由单根工字钢承担全部预制梁自重力荷载, 经计算, 图 4 中结构自重力均载为 60 kN/m。

4.2.2 工字钢内力设计值

采用 Robot 软件进行平面杆件计算, 桩顶与梁的连接为简支铰接, 计算结果见图 5。根据计算结果, 工字钢内力设计值 (承载能力极限状态短暂状况) 为: 最大正弯矩 $M^+ = 25.78 \text{ kN}\cdot\text{m}$, 最大负弯矩 $M^- = -79.67 \text{ kN}\cdot\text{m}$, 最大剪力 $V = 102.21 \text{ kN}$ 。

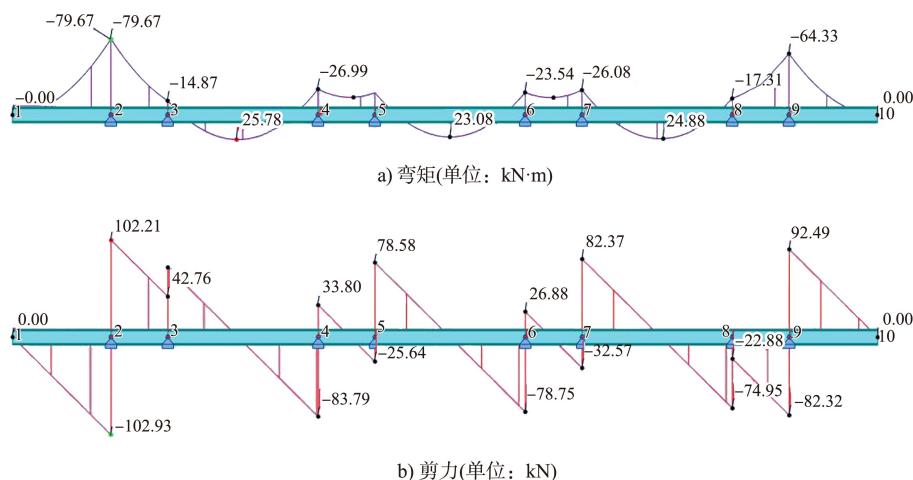


图 5 工字钢计算结果

4.2.3 应力复核

1) 截面特性。工字钢截面见图 6, 截面参数见表 1。

2) 应力计算。根据《水运工程钢结构设计规范》^[6], 正应力设计值需满足判别式(1), 剪应力设计值需满足判别式(2):

$$\sigma = \frac{M}{rW} \leq f$$

$$\tau = \frac{VS}{It_w} \leq f_v$$

式中: σ 为正应力设计值, MPa; M 为弯矩设计值, N·mm; r 为截面塑性发展系数, 取 1.05; W 为净截面模量, mm³; f 为钢材抗弯强度设计值, MPa; τ 为剪应力设计值, MPa; V 为剪力设计值, N; S 为截面对中和轴的面积矩, mm³; I 为截面惯性矩, mm⁴; f_v 为剪应力允许值, MPa。

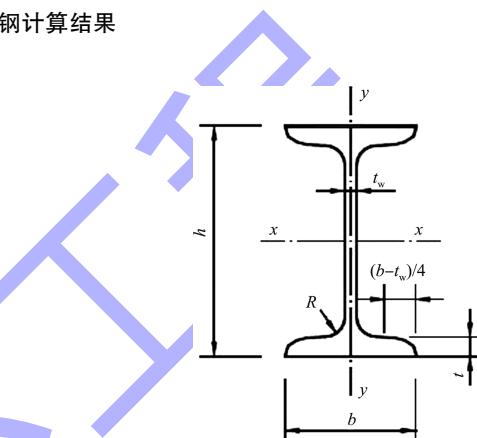


图 6 工字钢截面

经计算, 正应力设计值为 182.4 MPa, 允许值为 215 MPa; 剪应力设计值为 110 MPa, 允许值为 125 MPa。工字钢强度满足施工期承载力要求。

表 1 25 号工字钢截面参数

型号	$h/$ mm	$b/$ mm	$t_w/$ mm	$t/$ mm	$R/$ mm	截面面积/ cm^2	理论质量/ $(kg \cdot m^{-1})$	惯性矩 I_x/cm^4	截面系数 W_x/cm^3	惯性半径 i_x/cm	惯性矩/半截面的 静力矩 $I_x/S_x/cm$	惯性矩 I_y/cm^4	截面系数 W_y/cm^3	惯性半径 i_y/cm
25a	250	116	8	13	10	48.5	38.1	5 017	401	10.20	21.7	280	48.4	2.40
25b		118	10			53.5	42.0	5 278	422	9.93	21.4	297	50.4	2.36

4.3 其他技术要点

其他技术要点包括: 1) 开孔处横梁底部主筋及箍筋严禁切断; 2) 孔口侧壁布置足够的架立筋, 以满足施工期横梁截面(尤其是开孔处横梁截面大面积减小)的抗剪要求。

5 结语

1) 桩基与横梁连接的形式不同于常规的通过现浇桩帽节点或直接现浇横梁的包覆性刚接形式, 而是通过预制横梁预留桩基孔洞, 采用少量现浇混凝土实现预制横梁和桩基的有效连接。

(下转第 74 页)