



桩帽与整体预制装配式横梁的连接技术应用*

崔磊¹, 吴辉¹, 乔成²

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032; 2. 安徽理工大学 土木建筑学院, 安徽 淮南 232001)

摘要: 针对高桩码头整体预制装配式横梁与桩帽难以采用常规的外伸钢筋连接的问题, 依托实际工程, 提出一种采用型钢及梁内预留孔洞后灌浆的型钢替代法, 采用数值分析方法对其结构内力及材料应力进行计算。结果表明, 型钢替代法技术方案的核心在于用钢量及惯性矩的等效设计, 该技术方案经验证可行。

关键词: 装配式梁; 桩帽; 型钢; 后灌浆

中图分类号: U 656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0122-06

Application of technology connecting integral prefabricated beam and pile cap

CUI Lei¹, WU Hui¹, QIAO Cheng²

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: Conventional protruding bars cannot connect the integral prefabricated beam and pile cap of a high-piled wharf. In view of this problem, this paper proposes a replacement method using section steel and post-grouting of reserved holes in the beam based on an actual project. The paper uses the numerical analysis method to calculate the internal force of the structure and the stress of the material. The results show that the core of the technical scheme of the section steel replacement method lies in the equivalent design for steel content and its inertia moment. In addition, the feasibility of the technical scheme is verified.

Keywords: prefabricated beam; pile cap; profile steel; post-grouting

在房建及桥梁行业中, 装配式梁板、梁柱体系已经历了多年的研究与发展。梁与梁的连接、梁与柱的连接已进行了从计算设计^[1-2]到施工^[3]多方面的深入探索及应用, 而在钢梁结构上已发展出可以使用法兰及高强螺栓调节的双向预应力梁技术^[4]。港口码头行业的装配式技术起步较晚, 国内高桩码头整体装配式梁板的应用案例尚为数不多。在目前的高桩码头结构体系中, 现浇桩帽配套纵横梁等高连接是较为常见的一种结构形式, 一般又可细分为横梁整体现浇或横梁分段预制拼接两种形式。前者由于需要大体积浇筑, 难以避免各种原因导致的裂缝开展问题^[5]; 后者的横梁

由于长度、质量等原因一般为分段预制并搁置在同一排架的相邻桩帽之间, 预制纵梁搁置在相邻排架的同一列桩帽上, 再现浇上桩帽形成连接节点, 使得横梁与纵梁形成连续梁格。常规的桩帽与上部梁系的连接主要依靠在桩帽制作时预留钢筋从桩帽顶面向上伸出, 与预制纵横梁的外伸钢筋一起在现浇上桩帽内进行锚固, 上部梁系与桩帽达到有效连接。随着行业技术的发展及对工程建设提出的节能、高效、环保等要求, 为了进一步提高预制装配率, 尽量避免横梁分段预制、多次吊装的重复工序, 提出一种整体预制装配式横梁技术方案。横梁预制长度即为码头宽度, 整体

收稿日期: 2022-11-15

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFB2600700)

作者简介: 崔磊 (1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口与航道工程设计。

预制后一次性吊运安装在桩帽上部,通过一定的创新连接手段使桩帽与横梁可靠连接,对提高工程质量及建设功效十分有利。本文依托相关工程实例,介绍一种在整体预制装配式横梁技术方案下的桩帽与横梁的连接设计,可为类似工程提供参考。

1 工程概况

依托工程为1座10万吨级液体化工码头,宽度为22 m,采用高桩梁板式结构。码头排架间距10 m,上部结构为现浇桩帽+纵横梁等高连接,设置有3个双桩桩帽,下部桩基采用 $\phi 1\ 200$ mm大管桩。断面如图1所示。

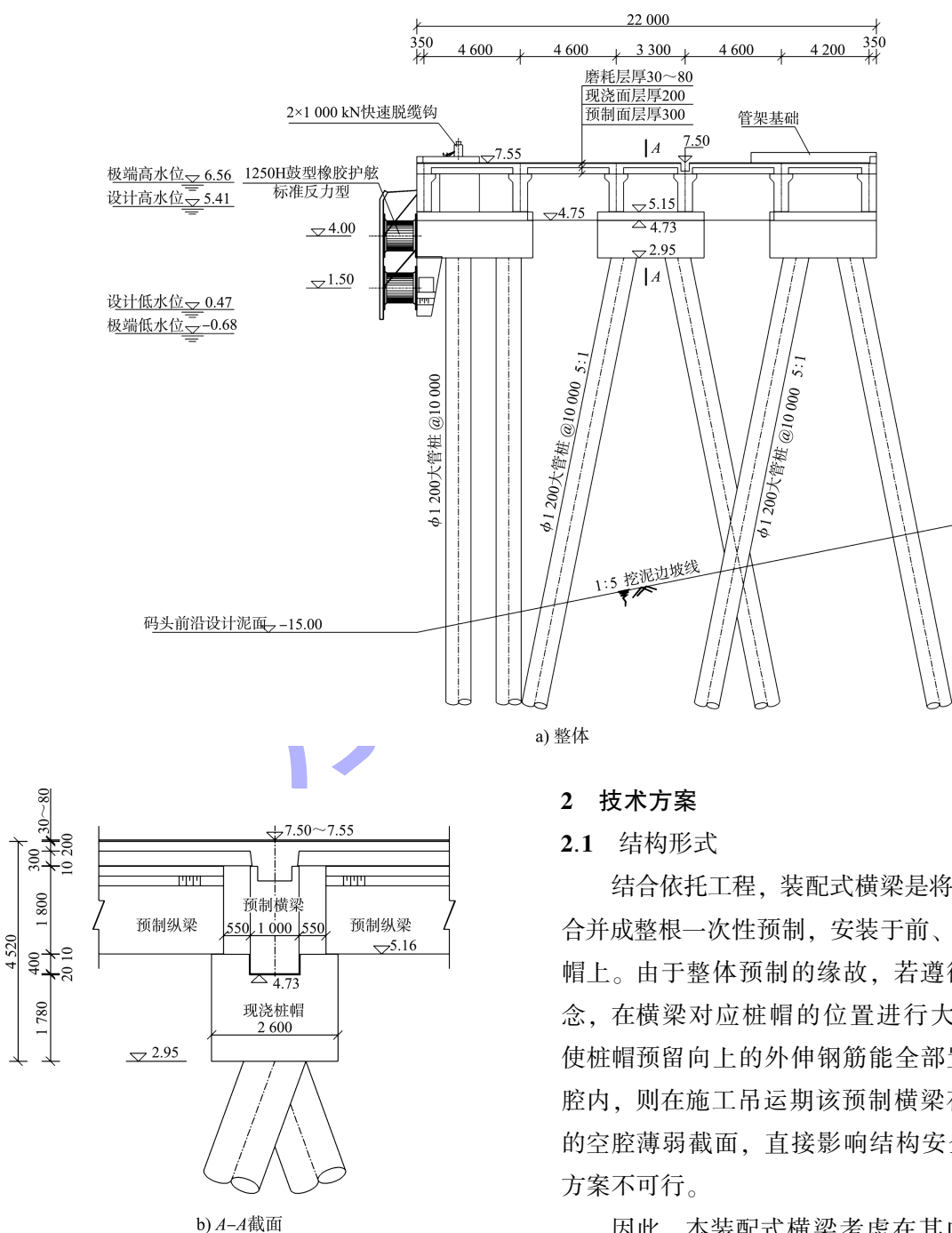


图1 依托工程码头结构断面(尺寸: mm; 高程: m)

2 技术方案

2.1 结构形式

结合依托工程,装配式横梁是将原若干段横梁合并成整根一次性预制,安装于前、中、后3个桩帽上。由于整体预制的缘故,若遵循常规设计理念,在横梁对应桩帽的位置进行大空腔的开设,使桩帽预留向上的外伸钢筋能全部置于横梁大空腔内,则在施工吊运期该预制横梁存在非常明显的空腔薄弱截面,直接影响结构安全,导致技术方案不可行。

因此,本装配式横梁考虑在其内部对应桩帽的位置预留多个上下贯通的竖向孔,预留孔尺寸满

足安装偏差及结构连接的最小要求, 尽量避免截面过大造成损失。桩帽施工时, 预埋竖直向上的型钢组, 插入对应位置的横梁预留孔内, 灌浆料从上而下注入振捣密实, 从而使横梁与桩帽有效连接。其结构如图 2 所示。

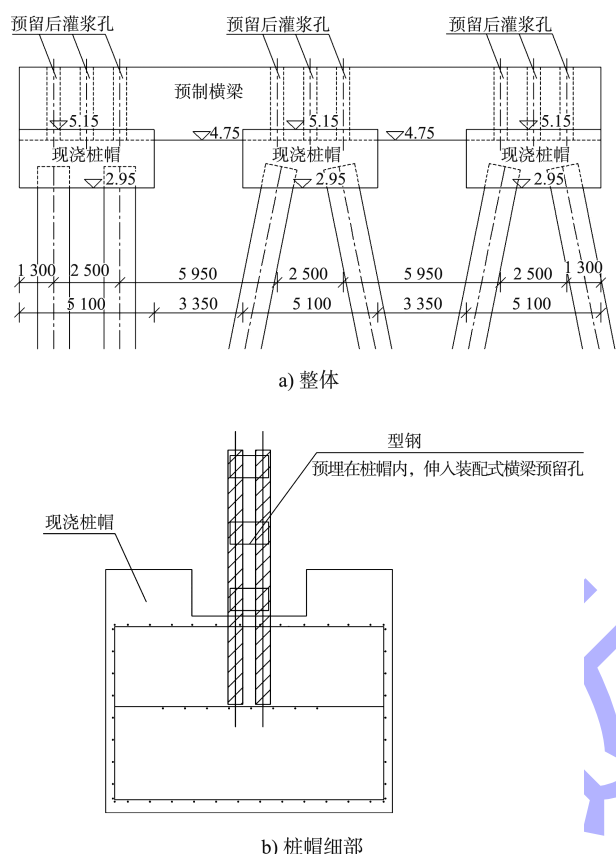


图 2 桩帽与横梁连接

2.2 技术方案的难点

2.2.1 型钢截面尺寸

在常规技术方案下, 当桩帽上部的横梁段受到水平荷载及竖向荷载时, 通过桩帽顶部伸入横梁的锚固钢筋对横梁进行约束, 并将荷载传递到桩帽及桩基上。因此, 在采用型钢替代钢筋时, 应考虑其替代的有效性及等效性, 即单个桩帽上的型钢总截面积应与常规技术方案下的预埋钢筋总截面积基本匹配, 保证桩帽能等效约束横梁受力时的竖向及水平向的变形。

2.2.2 型钢设置的位置

在常规技术方案下, 当桩帽上部的横梁段受到偏心荷载或外弯矩时, 也是通过桩帽顶部伸入

横梁的锚固钢筋对横梁进行约束, 并将荷载传递到桩帽及桩基上。其受力机理为: 桩帽一侧的钢筋受拉, 另一侧横梁与桩帽的混凝土接触面受压, 形成抵抗弯矩。因此, 在采用型钢替代钢筋时, 应综合考虑型钢规格及间隔距离, 使同一桩帽上的各个型钢构成的型钢组产生较大的惯性矩, 对横梁受弯变形起到良好的约束, 同时减小型钢内应力, 避免选型过大造成浪费。

3 计算分析

3.1 数值模型

为了验证型钢替代钢筋的后灌浆连接技术方案的可行性, 并探究其与常规钢筋外伸锚固连接方案的约束性能关系, 建立 2 个单排架模型。

3.1.1 常规结构模型

采用 ABAQUS 有限元软件建立 1 个单排架模型: 码头横梁长 22 m、宽 1 m、高 2.75 m, 通长现浇。下设 3 个现浇桩帽 (长 5.2 m、宽 2.6 m、高 1.8 m), 均为双桩节点, 桩基采用 $\phi 1\ 200\ \text{mm}$ 大管桩, 桩底采用刚节点与地基锚固。桩帽顶部外伸 4 排钢筋, 伸入现浇横梁中。结构配筋参数见表 1。有限元模型如图 3 所示。

表 1 常规结构模型配筋参数

结构	钢筋种类	钢筋直径/mm	钢筋数量/根	布置类型
桩帽	桩帽主筋	25	49	六面环箍
	外伸钢筋	25	106	四排, 向上伸入横梁
横梁	底部受力主筋	28	18	底部双层布置
	顶部受力主筋	28	18	顶部双层布置
	架立筋	16	18	横梁两侧布置
	箍筋	16	178	四肢箍

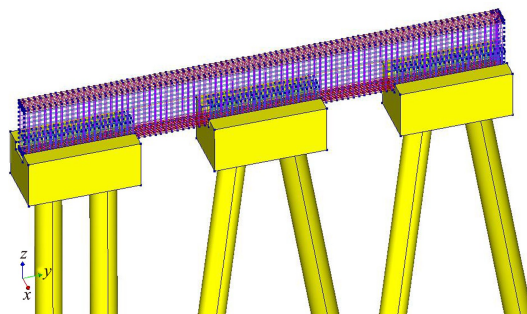


图 3 常规结构模型

3.1.2 装配式横梁模型

采用 ABAQUS 有限元软件建立 1 个单排架模型：码头横梁尺寸与常规结构模型一致，通长预制。下设 3 个现浇桩帽（尺寸与常规结构模型一致），均为双桩节点，桩基采用 $\phi 1\ 200\ \text{mm}$ 大管桩，桩底采用刚节点与地基锚固。3 个桩帽顶部各外伸 3 组（每组 2 根）型钢，每组距离桩帽横轴线 1.25 m。横梁预制时，在型钢位置预留上下贯通式开孔，开孔平面边长为 500 mm。横梁安装时将开孔套住外伸型钢，再进行灌浆连接。

装配式横梁为了保障施工期吊运安全及搁置期控制变形，进行了如下配筋处理：1）横梁通长方向的主筋在孔洞两侧按照承载力要求配足，孔洞之间的钢筋作为分布主筋；2）孔洞之间的梁底、梁顶分布主筋作为附加钢筋布置，位于通长钢筋内侧；3）孔洞处箍筋加密，肢数不变。结构配筋参数见表 2。有限元模型如图 4 所示。

表 2 装配式结构模型配筋参数					
结构	钢筋种类	钢筋直径/mm	型钢规格	钢筋数量/根	布置类型
桩帽	桩帽主筋	25	—	49	六面环箍
	外伸钢筋	—	32C 工字钢	6	向上伸入横梁
横梁	底部受力主筋	32	—	12	孔洞两侧三层布置
	底部分布主筋	20	—	15	孔洞之间三层布置
	顶部受力主筋	32	—	12	孔洞两侧三层布置
	顶部分布主筋	20	—	15	孔洞之间三层布置
	架立筋	16	—	14	横梁两侧布置
	箍筋	16	—	178	四肢箍
	箍筋(加密)	25	—	30	四肢箍

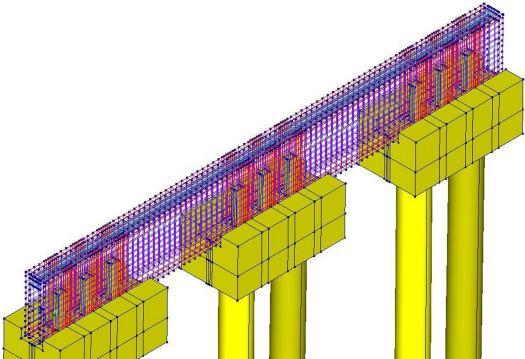


图 4 装配式结构模型

3.2 荷载计算

依托工程的控制荷载为位于码头后沿的化工管架立柱荷载（每榀排架 2 处）各 1 000 kN 及位于码头前沿的船舶荷载(系缆力或撞击力)1 000 kN。为贴近实际工程，数值模拟采用相同的荷载布置，如图 5 所示。其中荷载 A 为作用于横梁上表面的竖直向下的力，2 处各 1 000 kN；荷载 B 为作用于横梁前立面上的水平力，1 000 kN。计算内容包括结构位移、横梁弯矩、主筋应力、桩帽与横梁间连接钢筋（或型钢）应力。

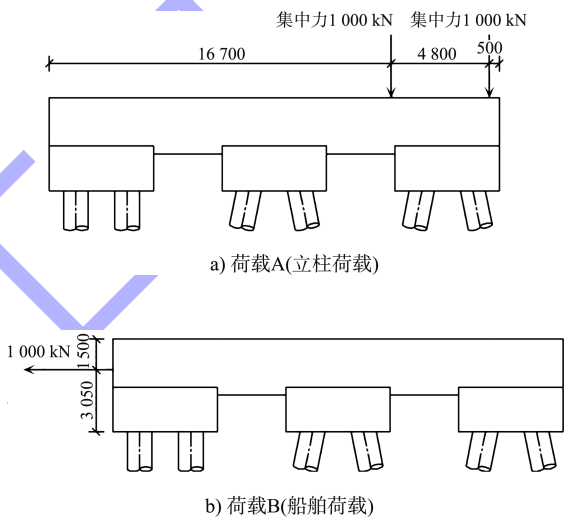
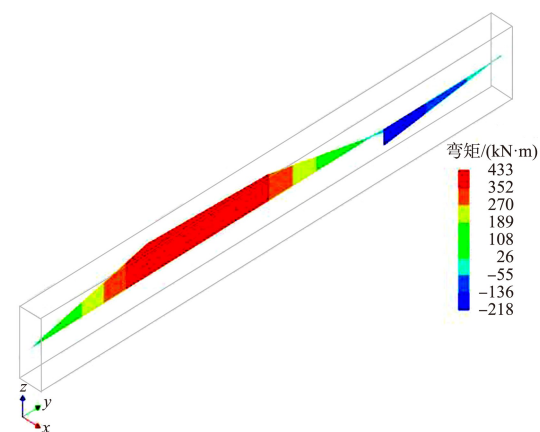


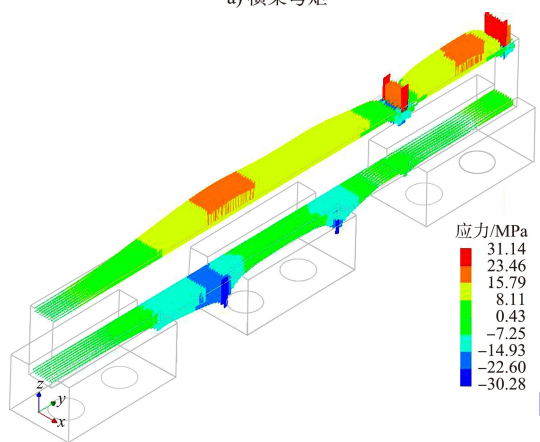
图 5 荷载布置（单位：mm）

数值分析计算结果见表 3。其中在荷载 A 作用下，常规结构的横梁弯矩、主筋应力见图 6，装配式结构的横梁弯矩、主筋应力见图 7。在荷载 B 作用下，常规结构的横梁弯矩、主筋应力见图 8，装配式结构的横梁弯矩、主筋应力见图 9。

表 3 桩帽横梁节点模型计算结果对比					
荷载	模型	位移/mm	横梁		主筋应力/MPa
			正弯矩/(kN·m)	负弯矩/(kN·m)	
A	常规结构模型	1.62	218	-433	30.28
	装配式横梁模型	1.46	121	-418	28.62
B	常规结构模型	11.20	7.02	-720	36.61
	装配式横梁模型	11.11	3.24	-812	32.75

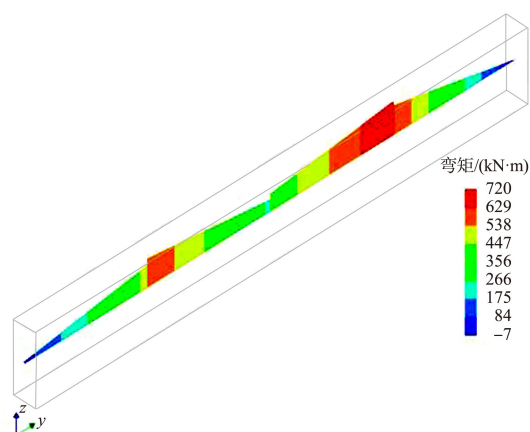


a) 横梁弯矩

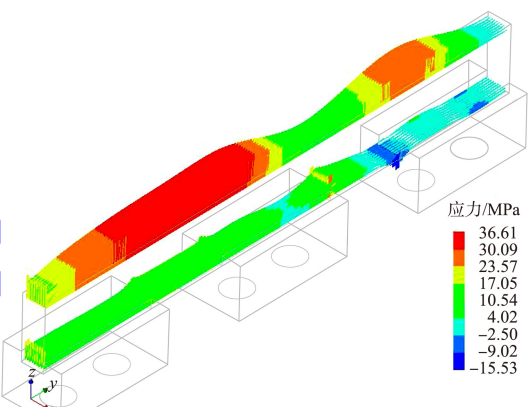


b) 横梁主筋应力

图 6 荷载 A 作用下常规结构数值计算结果

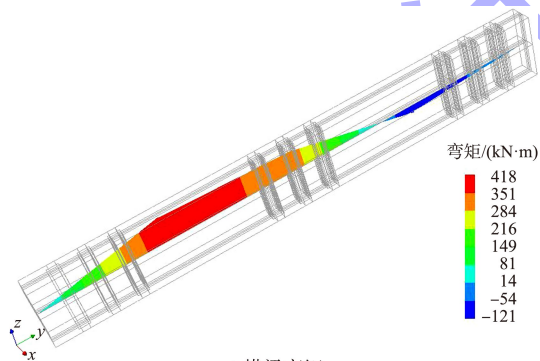


a) 横梁弯矩

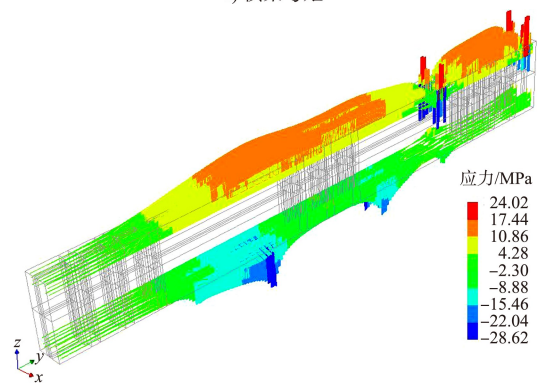


b) 横梁主筋应力

图 8 荷载 B 作用下常规结构数值计算结果

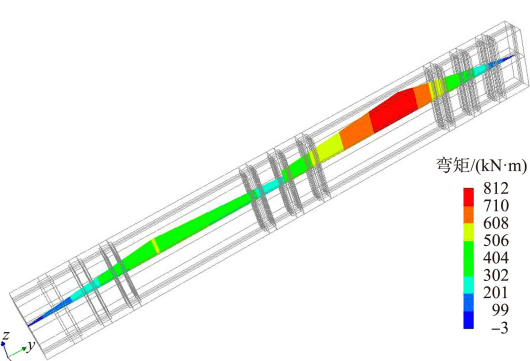


a) 横梁弯矩

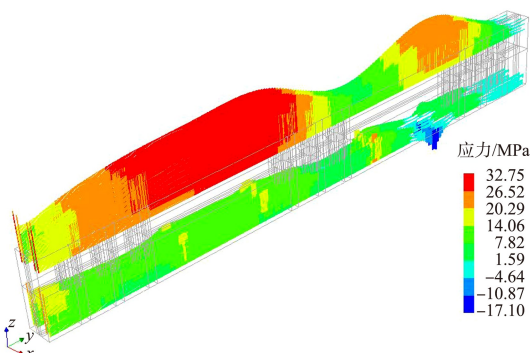


b) 横梁主筋应力

图 7 荷载 A 作用下装配式结构数值计算结果



a) 横梁弯矩



b) 横梁主筋应力

图 9 荷载 B 作用下装配式结构数值计算结果

4 计算结果分析

4.1 连接性质分析

通过对比位移、内力及应力分布可知: 两种模型的结构位移的数量级一致、大小接近; 内力分布规律基本一致, 最大弯矩出现的位置在两种模型中也是一致的。故可以得出: 采用型钢锚固的预制装配式横梁在连接可靠的前提下, 该连接方式与常规的现浇横梁桩帽的连接方式均能达到相同的效果, 技术方案是可行的。

4.2 型钢选型及布置

为使装配式横梁与桩帽的连接及受力性能与常规现浇横梁基本一致, 对节点内型钢的设计要点应进行重点研究。基于模型对比计算结果的相似性, 总结规律如下:

1) 单个桩帽上部的型钢总截面积应与常规方案外伸钢筋的总面积基本一致, 使得桩帽上部的横梁受到桩帽的竖直及水平约束基本一致。两种模型连接配筋 (型钢) 情况如图 10 所示。

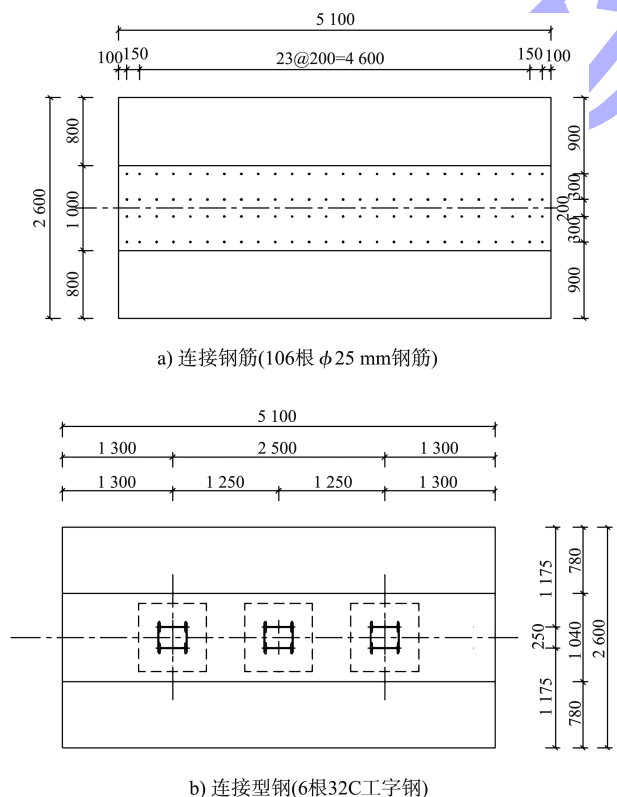


图 10 两种模型连接配筋 (型钢) 情况 (单位: mm)

常规模型截面含钢量为 5.2 万 mm^2 , 装配式模型截面含钢量为 4.8 万 mm^2 。常规模型略高于装配式模型, 但较为接近, 桩帽对上部横梁的竖直及水平约束基本一致。从模型位移数据上看, 可得到验证。

2) 针对横梁受弯 (或偏心力) 情况下, 横梁抵抗扭转变形主要依靠其横截面惯性矩。以模型配筋情况为例, 常规横梁横截面配筋布置与装配式横梁横截面配筋 (型钢) 布置见图 11。

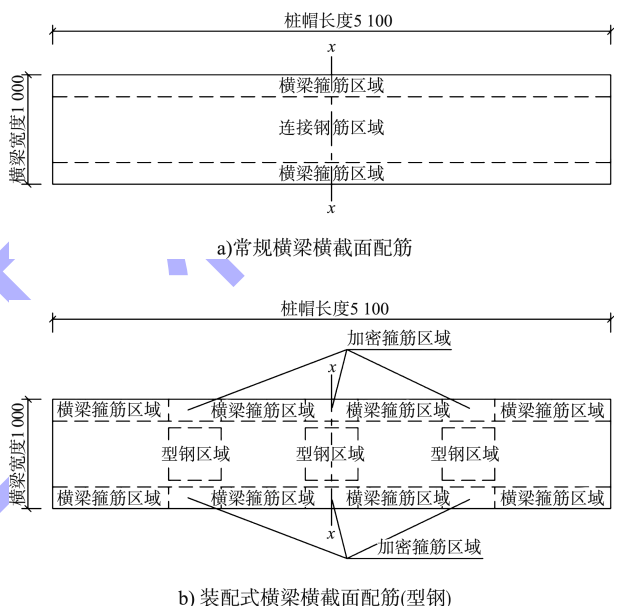


图 11 常规与装配式横梁横截面配筋 (型钢) 布置
(单位: mm)

两者在惯性矩上的差别主要体现在连接钢筋与型钢的差别、普通箍筋 (间隔 250 mm 布置) 与加密箍筋 (间隔 100 mm 布置) 的差别。2 个模型的截面惯性矩为: 常规模型横梁配筋对 x 轴的惯性矩为 0.113 8 m^4 ; 装配式模型横梁配筋对 x 轴的惯性矩为 0.112 0 m^4 。

可以看出, 两组模型对桩帽中轴线 (码头纵梁方向) 的惯性矩基本一致, 横梁受桩帽约束下的抵抗扭转变形的能力也基本一致, 型钢锚固的连接方式对横梁受弯变形起到良好的约束作用。

(下转第 132 页)