



装配式高桩码头全简支梁水平力传递性能*

刘晓曦¹, 徐俊¹, 吴宇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: 全简支梁结构具有快速装配的优点, 但由于对其水平力传递性能研究不足, 在装配式高桩码头中应用较少。通过有限元模型计算对比, 分析了全简支梁结构受水平集中力情况下码头结构的位移分布规律。结果表明: 全简支梁体系对码头结构水平力传递性能削弱的影响较小, 在面层连续的情况下能有效传递水平力, 是可行的装配式技术方案。采用全简支梁体系的高桩码头结构宜在《码头结构设计规范》规定的基础上, 将水平力分配系数及计算位移值适当提高。

关键词: 简支梁; 传力性能; 装配式高桩码头

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)05-0075-05

Horizontal force transmission performance of fully simply supported beam used in prefabricated high-piled wharf

LIU Xiaoxi¹, XU Jun¹, WU Yu²

(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: The simply supported beam structure has the advantage of rapid assembly, but it is seldom used in prefabricated high-piled wharf due to the lack of research on its horizontal force transmission performance. This paper analyzes the displacement distribution law of wharf structure subjected to horizontal concentrated force through the comparison of finite element model calculation. The results show that the full simply supported beam system has little effect on the weakening of horizontal force transfer performance of wharf structure, and can effectively transfer horizontal force under the condition of continuous surface layer, which is a feasible prefabricated technical scheme. For the piled wharf structure with full simply supported beam system, the horizontal force distribution coefficient should be appropriately increased on the basis of standard regulations in *Design Code for Wharf Structure*.

Keywords: simply supported beam; force transmission performance; prefabricated high-piled wharf

全简支梁在桥梁工程中应用广泛^[1], 预制梁系在横梁或桩台顶部断开, 无需进行节点钢筋的连接与后浇带混凝土的浇筑, 仅需设置挡块等结构抵抗水平荷载^[2], 施工较为方便快捷。但在水运行业中, 考虑到沉降位移等因素, 简支梁板主要应用于重力式码头等结构中^[3]。在高桩码头工程中, 由于排架常需承担船舶系缆力、撞击力、波浪力等较大的水平荷载, 简支梁的应用较为谨慎, 一般仅应用

于掩护条件较好的高桩梁板式引桥等主要承受竖向荷载的水工结构上。常规高桩梁板式码头的纵向梁系(纵梁、边梁、轨道梁等)基本按照连续梁设计: 预制纵向梁系的外伸钢筋在横梁或上桩帽内进行连接, 并通过浇筑横梁或上桩帽使得纵横梁系连接成整体式梁格。在常规技术方案下, 当单个排架受力时, 荷载可通过纵向梁系传递至相邻的排架上, 避免了单一排架独立承担荷载的情况。

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: 刘晓曦(1989—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口、航道工程设计。

随着装配式技术在高桩码头工程中的发展与应用,不需要后浇带连接的简支梁系实际上是装配式结构的极简情况,可大幅度减少施工工序,提高建设功效。同时,由于大跨预应力结构及新型筋材^[4]的广泛应用,简支梁在码头结构中起到日益重要的作用。如何有效利用简支梁系结构、控制好码头上部梁系结构的简支率,发挥其施工快速、便捷的优点,核心要义是研究全简支梁的水平力传递性能。本文采用有限元计算方法,对两个对比模型进行分析研究。

1 结构形式及数值模型

1.1 码头概况

依托某码头工程实际,采用 ABAQUS 有限元软件建立两个结构分段模型,分别为传统结构模型和装配式全简支梁模型。两个模型的码头平台长 61 m、宽 22 m,采用桩帽节点形式的高桩梁板式码头,纵梁与横梁在桩帽顶部等高连接。结构段共设置 7 榀排架,间距 10 m,共设置 6 根桩,桩顶及桩底均为固接模式,断面如图 1 所示。

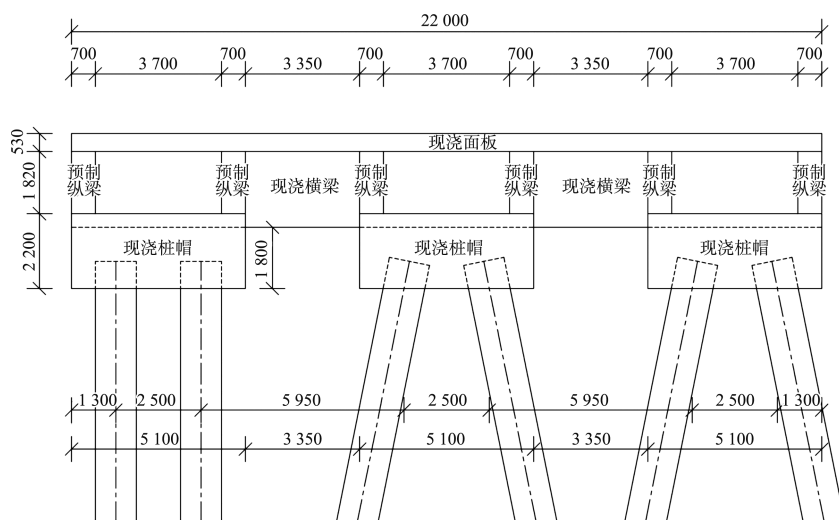


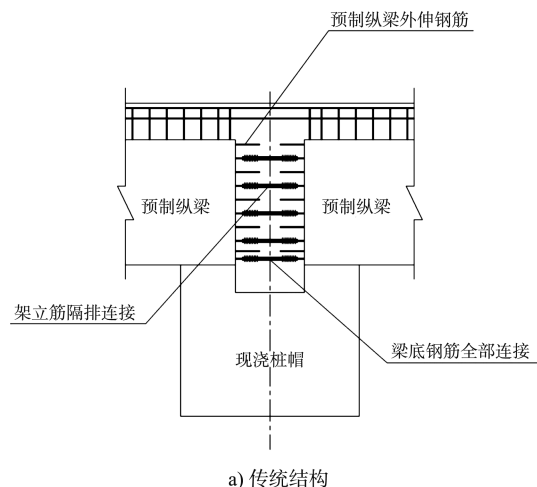
图 1 结构断面 (单位: mm)

为贴合常规工程实际,模型中梁板的具体尺寸及配筋与码头工程一致: 1) 横梁长 22.00 m, 宽 1.00 m, 高 1.82 m, 采用 C40 混凝土。横梁顶部及底部主筋采用 18 根 $\phi 28$ mm 钢筋 (HRB400, 下同); 横梁架立筋采用 18 根 $\phi 16$ mm 钢筋; 横梁箍筋采用 $\phi 16$ mm 钢筋 (四肢箍), 间隔 250 mm 布置。2) 预制纵梁长 9.00 m, 宽 0.70 m, 高 1.82 m, 采用 C40 混凝土。纵梁顶部及底部主筋采用 12 根 $\phi 25$ mm 钢筋; 纵梁架立筋采用 14 根 $\phi 16$ mm 钢筋; 纵梁箍筋采用 $\phi 14$ mm 钢筋 (四肢箍), 间隔 250 mm 布置。3) 面层长 61.00 m, 宽 22.00 m, 高 0.50 m, 采用 C30 混凝土。钢筋连续铺设: 码头横向采用 $\phi 14$ mm 钢筋, 间隔 100 mm 布置; 码头纵向采用 $\phi 12$ mm, 间隔 200 mm 布置。

1.2 结构模型

传统结构按照常规技术方案,预制纵梁端部

外伸钢筋伸入现浇横梁,底部主筋在横梁内全部连接,架立筋隔排连接。面板钢筋通长布置,并浇筑连续面层,见图 2a)。装配式结构的纵向梁系采用简支梁,两端无外伸钢筋进入横梁。预制纵向梁系端部与横梁侧面之间留有结构缝。面板钢筋通长布置,并浇筑连续面层,见图 2b)。



a) 传统结构

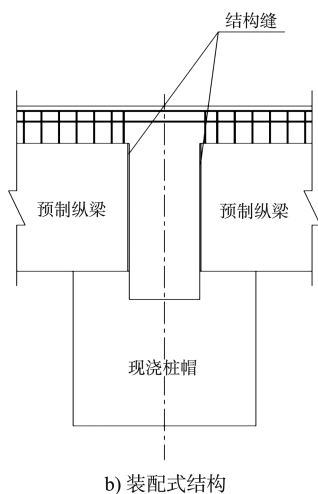


图 2 两种结构纵横梁连接

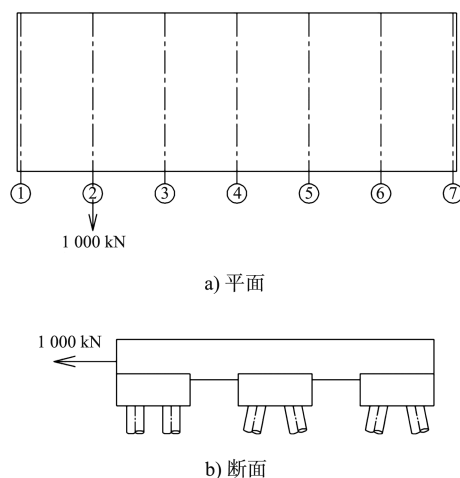


图 3 荷载作用

2 计算工况

分别在码头 1#~4#排架端部施加一水平集中力, 大小为 1 000 kN。计算并统计各工况下排架的水平位移值。以 2#排架受力为例, 其荷载如图 3 所示。

3 计算结果

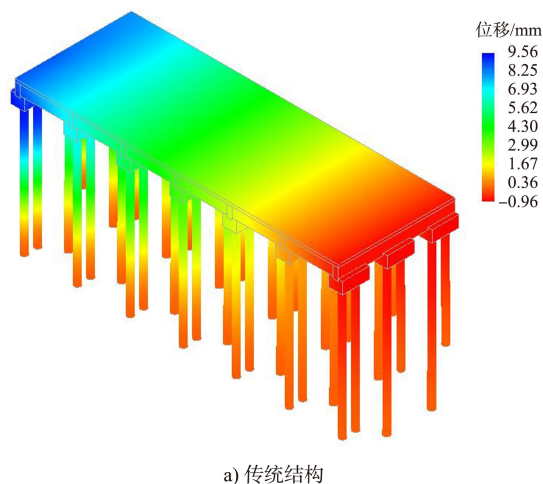
根据有限元模型计算结果, 各工况下的码头排架位移见表 1。

表 1 排架位移计算结果

模型类别	受力排架	位移/mm							总位移/mm
		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	
传统结构	1#	9.56	7.05	5.97	4.11	2.51	-0.11	-0.96	28.13
	2#	8.51	6.66	5.77	4.26	3.19	1.45	0.02	29.86
	3#	6.08	5.97	5.36	4.25	3.10	2.76	2.08	29.60
	4#	4.08	4.24	4.82	4.96	4.82	4.24	4.08	31.24
装配式结构	1#	10.06	6.67	5.78	3.35	2.81	0.79	-0.89	28.57
	2#	9.05	7.48	6.07	4.51	3.46	2.01	0.03	32.61
	3#	6.33	6.05	5.89	4.93	3.86	2.97	2.13	32.16
	4#	4.67	5.01	5.54	5.89	5.54	5.01	4.67	36.33

1) 1#排架受力情况。如图 4a) 所示, 当水平力作用于 1#排架时, 传统结构模型各排架水平位移基本呈线性分布, 1#排架位移最大, 为 9.56 mm (排架中心线顶面位置处数据), 7#排架位移最小, 为 -0.96 mm (与受力方向相反), 整体结构表现出刚体扭转的形态。

如图 4b) 所示, 装配式结构模型各排架水平位移也基本呈线性分布, 1#排架位移最大, 为 10.06 mm, 7#排架位移最小, 为 -0.89 mm (与受力方向相反), 整体结构也表现出刚体扭转的形态。相对而言, 两种模型位移值相差不大, 装配式模型位移略大于传统结构模型。



a) 传统结构

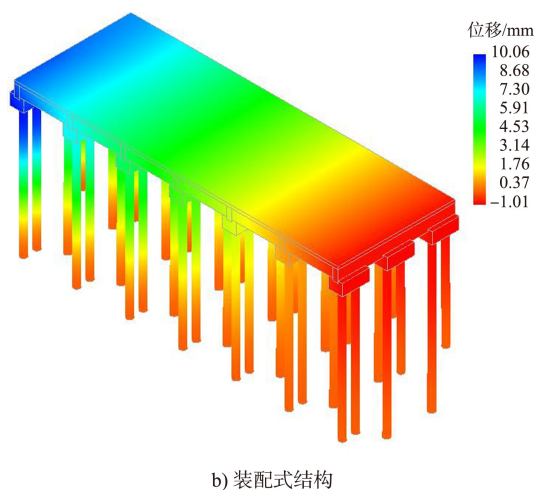


图4 两种结构1#排架受力位移云图

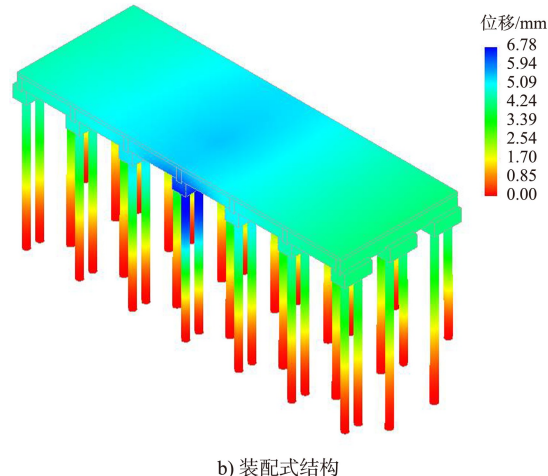
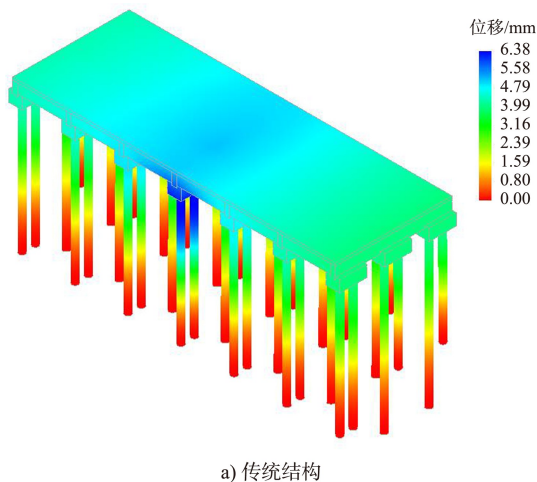


图5 两种结构4#排架受力位移云图

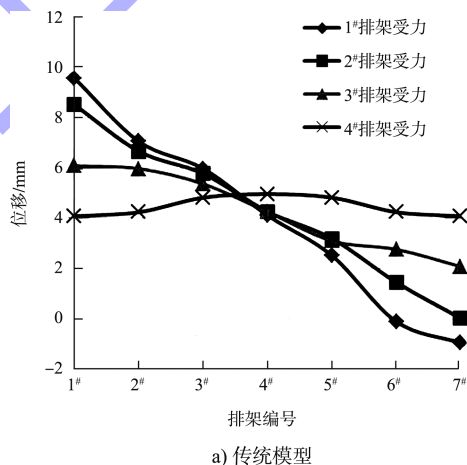
2) 2#、3#排架受力情况。与1#排架受力情况类似,传统结构模型和装配式结构模型各排架的水平位移基本呈线性分布,1#排架位移最大,7#排架位移最小,整体结构表现出刚体扭转的形态。相对而言,两种模型位移值相差不大,装配式模型位移略大于传统结构模型。

3) 4#排架受力情况。当水平力作用于4#排架时,传统结构模型各排架的水平位移基本呈马鞍形分布。4#排架位移最大,为4.96 mm;1#及7#排架位移最小,为4.08 mm。整体结构表现出刚体平移的形态,见图5a)。

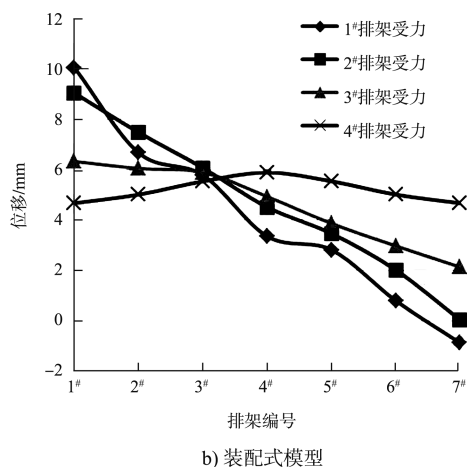
装配式结构模型各排架水平位移也基本呈马鞍形分布,见图5b),4#排架位移最大,为5.89 mm,1#及7#排架位移最小,为4.67 mm,整体结构体也现出刚体平移的形态。相对而言,两种模型位移值相差不大,装配式模型位移略大于传统结构模型。



a) 传统结构



a) 传统模型



b) 装配式模型

图6 两种结构模型不同受力工况下位移分布

4 结构分析

4.1 位移分布及传力有效性

1) 以4种受力工况为子序列,绘制两种模型排架位移分布见图6。

根据 JTS 167—2018《码头结构设计规范》^[5]，高桩码头考虑水平力传力分配时，上部结构被假想为一整体刚性块^[6]，各排架水平力分配系数呈线性分布，上部梁板可视为刚性体的扭转。对于中部排架受力的情况，各排架进行等荷载分配，位移值相同。

由图 6 可见，对于 1[#]、2[#]及 3[#]排架受力的情况，不论是传统连续梁技术方案还是装配式全简支梁技术方案，其水平力传递分布均基本呈线性关系，与规范规定基本吻合。对于 4[#]排架受力的情况，比较 4[#]排架本身的位移值与 1[#]、7[#]排架位移值之差，分别为 1.22 mm（装配式模型）和 0.88 mm（传统模型），说明装配式全简支梁模型在中部排架受水平力时，其传力性能相对较弱，码头结构呈现更为明显的柔性特征。

2) 在同一排架受力情况下，对比两种模型排架位移可得出：两种模型位移分布趋势相同，量值大致相当，装配式全简支梁模型略大于传统模型。说明采用装配式全简支梁方案对结构的水平

力传递性能影响不大，未出现因纵梁断开而导致受力排架单独受力、其余排架不受力的情况。两种结构模型的位移计算见表 2。由表可见，在本文采用的结构配筋方式下，纵梁的连续性对结构整体不起控制性作用，现浇面层的连续性是控制排架间传力的关键。纵梁的连续性对结构位移的影响为 2%~19%。当加密面层配筋时，该影响程度将进一步下降。

表 2 两种结构模型的位移计算

受力排架	δ_1/mm	δ_2/mm	δ_1/δ_2	Δ_1/mm	Δ_2/mm	Δ_1/Δ_2
1 [#]	10.06	9.56	1.05	28.57	28.13	1.02
2 [#]	7.48	6.66	1.12	32.61	29.86	1.09
3 [#]	5.89	5.36	1.10	32.16	29.60	1.09
4 [#]	5.89	4.96	1.19	36.33	31.24	1.16

注： δ_1 为装配式结构受力排架位移； δ_2 为传统结构受力排架位移； Δ_1 为装配式结构总位移； Δ_2 为传统结构总位移。

4.2 排架水平力分配系数

参考 JTS 167—2018《码头结构设计规范》附录 F 的编制办法，建立水平集中力的横向分配系数 $\beta=\delta/\Delta$ ，见表 3。

表 3 水平集中力的横向分配系数

模型类别	受力排架	水平力分配系数 β						
		1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]	7 [#]
传统结构	1 [#]	0.340	0.251	0.212	0.146	0.089	-0.004	-0.034
	2 [#]	0.285	0.223	0.193	0.143	0.107	0.049	0.001
	3 [#]	0.205	0.202	0.181	0.144	0.105	0.093	0.070
	4 [#]	0.131	0.136	0.154	0.159	0.154	0.136	0.131
装配式结构	1 [#]	0.352	0.233	0.202	0.117	0.098	0.028	-0.031
	2 [#]	0.278	0.229	0.186	0.138	0.106	0.062	0.001
	3 [#]	0.197	0.188	0.183	0.153	0.120	0.092	0.066
	4 [#]	0.129	0.138	0.152	0.162	0.152	0.138	0.129

从受力排架本身分配系数的角度，对比两种模型的分配系数计算值，见表 4。

表 4 水平集中力的横向分配系数

受力排架	β_1	β_2	β_1/β_2
1 [#]	0.352	0.340	1.04
2 [#]	0.229	0.223	1.03
3 [#]	0.183	0.181	1.01
4 [#]	0.162	0.159	1.02

注： β_1 为装配式结构受力排架水平力分配系数； β_2 为传统结构受力排架水平力分配系数。

可见，纵梁的连续性对结构受水平力分配系数的影响为 1%~4%，对结构的水平力传递性能不起控制性作用，也进一步证实：现浇面层的连续性结构是控制排架间传力的关键。

5 结论

1) 在高桩码头结构中，纵梁的连续性对结构的水平力传递性能有一定的影响，但不起控制性