



高桩码头桩梁节点连接形式 对其受力状态的影响

卓 杨, 吴 锋

(中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032)

摘要: 采用数值模拟方法, 通过改变高桩码头桩梁节点刚度模拟不同的连接形式, 分析高桩码头桩梁节点连接形式对其水平受力状态的影响。研究指出, 高桩码头桩梁节点的连接形式对其受力以及整体位移均有较大影响, 并获得了全直桩码头、有斜桩码头桩顶节点连接形式对码头整体受力状态影响的一般规律, 可以为码头整体承载性能的评估提供参考。

关键词: 高桩码头; 节点连接形式; 受力状态; 有限元

中图分类号: U 656.1⁺13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)07-0076-05

Effect of pile-beam joints' connection type to force state of high-piled wharf

ZHUO Yang, WU Feng

(Shanghai Third Harbor Engineering Science & Technology Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Using numerical simulation method, we analyze the influence of the pile-beam joints' connection type to the horizontal force state by changing the pile-beam joints' stiffness of high-piled wharf for different connection types. It is pointed out that the pile-beam joints' connection type of high-piled wharf has a significant effect on its stress and displacement, and the general law on joints' connection type to the force state about the all-vertical-piled wharf and fork pile wharf is obtained, which may serve as reference for evaluating the wharf's bearing performance.

Keywords: high-piled wharf; joints' connection type; force state; FEM

高桩码头是我国港口建设采用最早、应用最广泛的一种码头结构形式, 其水平承载力主要来自于码头桩基提供的水平抗力, 但是桩基水平抗力的发挥, 很大程度上取决于桩基与横梁之间的连接形式。对于单根桩基, 若桩基与横梁之间的连接形式为铰接, 其水平承载力特征值将小于桩基与横梁之间的连接形式为固接的情况; 对于群桩基础, 其桩梁节点的连接形式对于结构的水平受力状态也有较大影响。

目前对于高桩码头节点形式对高桩码头水平承载力的影响, 国内外并未见到相关文献对其进行研究。在结构节点连接形式的研究方面, 以往只在钢结构梁柱节点采用半刚接形式连接时, 计

算过钢结构梁柱连接节点的转动刚度。在钢筋混凝土以及钢、混凝土组合构件方面, 孙艺等^[1]提出了受压(拔)弯组合作用下钢管桩与上部结构连接的计算方法, Mehrain Mehrdad 等^[2]利用有限元方法对混凝土板的转动刚度进行研究; Aydogan M 等^[3]对预制构件的转动刚度做了数值模拟; France J E 等^[4]对混凝土填充管柱与钢板连接节点的转动刚度进行了研究; Tizani W 等^[5]对混凝土填充钢管与钢结构之间的转动刚度进行了研究。

本文采用数值模拟方法分析了高桩码头桩顶连接形式对码头水平受力状态的影响, 通过改变高桩码头桩梁节点刚度模拟不同的连接形式, 分析其对码头桩基位移、受力状态的影响。

收稿日期: 2014-11-13

作者简介: 卓杨 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程结构、桩基工程、海上风电基础等方面的设计、科研工作。

1 全直桩码头结构桩顶连接形式对受力状态的影响

1.1 有限元模型

采用通用有限元软件 ANSYS 建立全直桩高桩码头排架模型进行仿真计算, 如图 1 所示, 每个排架有 4 根直桩。

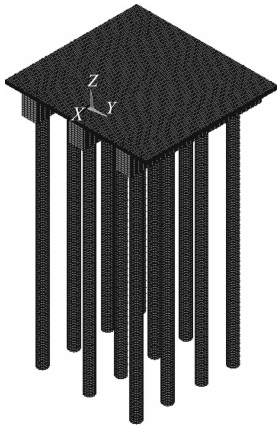


图 1 全直桩码头排架有限元模型

对 3 个排架的全直桩码头进行计算, 分析相邻排架间的影响。模型参考了某全直桩实际码头结构, 桩型、桩长一致, 码头结构与地基之间采用 m 法模拟桩-土之间的相互作用, 混凝土 (C40) 的弹性模量取 32.5 GPa。

1.2 桩顶固接模型计算结果

在中间排架前方作用荷载 10 kN, 其轴力、弯矩计算结果见图 2。

从图 2 可以看出, 在水平外载作用下, 前排桩受到轴向拉力, 后排桩受到轴向压力, 且弯矩作用下桩身上部均为后侧受拉。相邻排架分担了受力排架的荷载, 轴力、弯矩的分布趋势基本一致。

按图 3 所示测点位置, 提取直接受载排架相应的拉、压应力进行分析, 结果见表 1。

从表 1 可以看出: 前排桩身上部 (测点 3) 的拉应力最大, 其后排桩身上部 (测点 6、9、12) 的拉应力逐渐减小; 在压应力方面其规律则相反。对于码头梁板部位, 其拉、压应力相对于桩身应力均较小, 非承载力控制因素。本文主要分析高桩码头桩梁节点连接形式对码头受力状态的影响, 因此根据表 1 数据, 以测点 3 处最大应力为控制条件进行分析。

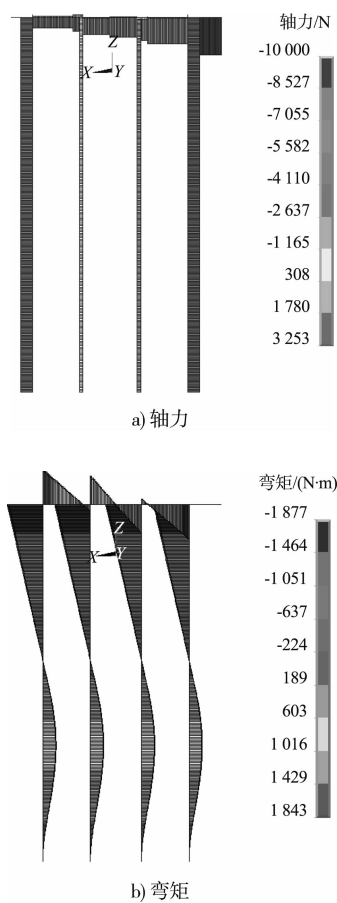


图 2 有限元计算结果

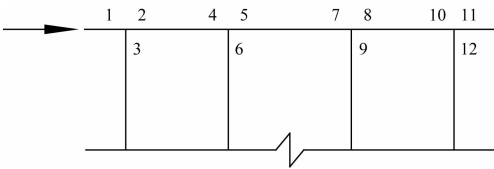


图 3 码头排架测点位置

表 1 测点应力		
测点	应力/kPa	
	最小	最大
1	-67	-67
2	-53	-42
3	-2 277	2 484
4	-43	-41
5	-41	-31
6	-2 359	2 422
7	-36	-26
8	-26	-24
9	-2 421	2 358
10	-26	-14
11	0	0
12	-2 483	2 276

注: 测点 1 由于仅受轴向压力, 因此应力一致。

1.3 桩顶非固接模型计算结果

本节通过改变节点区局部混凝土弹性模量来模拟节点的不同连接形式。在直桩顶处设置节点局部非固接，分别计算各直桩顶处的节点连接形式不同时，码头排架水平受力状态的变化，计算结果见图 4（按桩基位置，最前排为桩 1，往后为桩 2、桩 3、桩 4）。为便于表述，引入节点“连接系数”的概念，如下式所示：

$$\alpha = E_1/E_0 \tag{1}$$

式中： α 为节点连接系数； E_0 为桩顶固接时节点区局部混凝土弹性模量； E_1 为改变后节点区局部混凝土弹性模量。

图 4 为中间排架桩 1 顶部节点连接系数降至 0.1 时码头桩基在外载作用下的弯矩，从图 4 可以看出，桩 1 节点损伤后，其承受的外载减小，减少的部分主要传至桩 2 承担，即外载主要沿排架方向传递。因此，下面仅对中间排架桩 1~桩 4 顶部节点连接形式对码头排架水平受力状态和整体位移的影响进行分析。

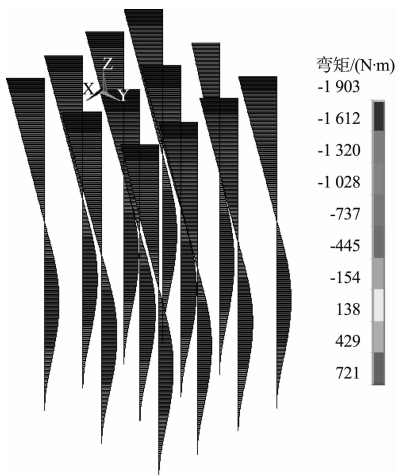


图 4 中间排架桩 1 顶部节点损伤后弯矩

从图 5 可以看出：

1) 桩 1 节点由固接逐渐向铰接变化时，码头排架水平外载和整体位移呈现出先增大后减小的趋势，分析其原因，发现随着桩 1 节点连接系数的减小，桩 2 逐渐取代桩 1 成为主要承载构件，相应地码头排架水平外载控制位置也逐渐从测点 3 转移到测点 6（表 2）。当桩 1 节点连接系数较大时，其仍

为主要承载构件，但桩 2 已开始承担更多的外载，因此在码头排架整体上表现为水平外载略微提高，并导致码头排架整体位移的增大；当桩 1 节点连接系数较小时，桩 2 为主要承载构件，并且由于其已达到构件承载力，因此随着桩 1 连接系数的减小，码头排架整体水平外载开始降低，相应码头排架整体位移也开始降低。当桩 1 节点连接系数达 0.1 时，排架整体水平外载仅下降了 0.4%。

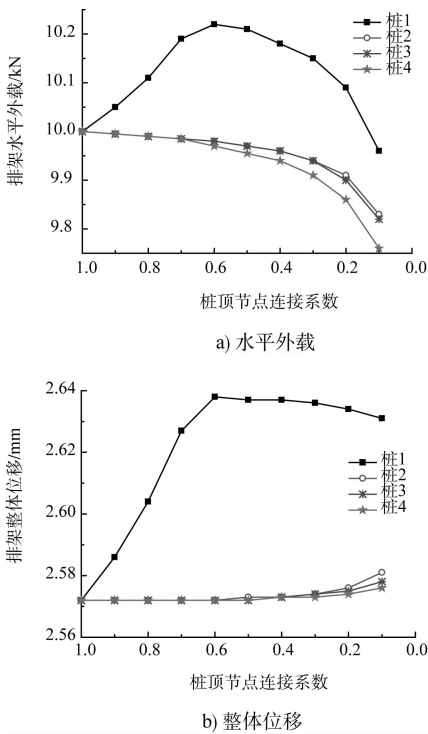


图 5 节点连接形式对排架整体位移的影响

表 2 桩 1 节点连接形式变化时各桩顶最大应力				
连接系数	最大应力/kPa			
	测点 3	测点 6	测点 9	测点 12
1.0	2 484	2 421	2 357	2 274
0.9	2 484	2 435	2 370	2 286
0.8	2 484	2 452	2 387	2 302
0.7	2 484	2 474	2 408	2 323
0.6	2 465	2 484	2 418	2 332
0.5	2 426	2 484	2 418	2 332
0.4	2 368	2 484	2 417	2 332
0.3	2 279	2 484	2 417	2 331
0.2	2 120	2 484	2 417	2 330
0.1	1 754	2 484	2 415	2 327

2) 桩 2、桩 3、桩 4 节点由固接逐渐向铰接变化时，由于桩 1 仍为主要承载构件，码头排架荷载传递方式没有改变，因此码头排架整体水平外载随着桩节点连接系数的减小而减小，整体位

移随着桩节点连接系数的减小而增大。当桩节点连接系数达到一定程度时, 码头排架整体水平外载开始加速减小。当桩 2、桩 3、桩 4 节点连接系数分别达 0.1 时, 码头排架整体水平外载分别下降了 1.7%、1.8%、2.4%。桩 2 和桩 3 节点连接形式对排架整体水平外载的影响基本一致。

以上分析表明: 对于全直桩的码头结构, 桩 1 的桩顶节点连接形式对码头的水平外载影响较小, 而其后各桩的桩顶节点连接系数的减小能引起较大的外载降低。

2 有斜桩码头结构桩顶连接形式对受力状态的影响

2.1 有限元模型

与全直桩码头排架模型类似, 建立有斜桩的梁板式高桩码头排架模型 (图 6) 进行仿真计算, 排架有 3 根直桩、2 根斜桩, 模型参考了某实际码头结构, 桩型、桩底高程一致, 采用 m 法模拟桩-土之间相互作用。

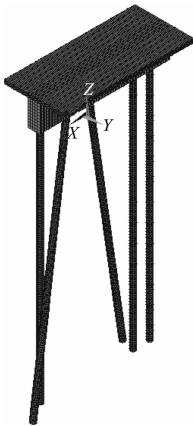


图 6 有斜桩码头排架有限元模型

2.2 桩顶固接模型计算结果

根据上节分析结果, 对于多个排架情况, 每个排架承担的荷载基本相同, 且节点损伤后, 其荷载主要由同排架后排桩基承担; 码头面板受到的拉、压应力相对于桩身应力均较小, 非承载力控制因素, 因此本节仅对单个排架桩身上部节点进行分析。同样在码头前方作用荷载 10 kN, 其轴力、弯矩计算结果见图 7, 按图 8 所示测点位置, 提取相应拉、压应力进行分析, 结果见表 3。

从图 7 可以看出, 在水平外载作用下, 斜桩

受到的轴向力较大, 其中向岸侧斜桩受拉、向海侧斜桩受压, 且弯矩作用下桩身上部均为后侧受拉。从表 3 可以看出, 向岸侧斜桩上部 (测点 3) 的拉应力最大, 与之相对应, 向海侧斜桩上部 (测点 4) 的压应力最大, 因此以测点 3 处最大应力为控制条件进行以下分析。

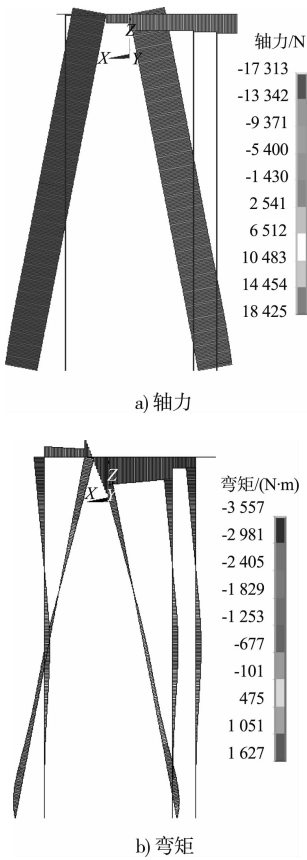


图 7 有限元计算结果

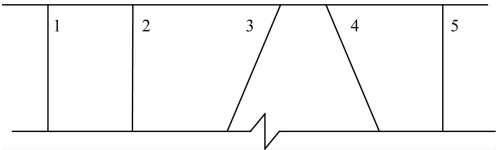


图 8 码头排架测点位置

表 3 测点应力

测点	应力/kPa	
	受压区	受拉区
1	-13 372	13 273
2	-13 397	13 184
3	-8 411	17 136
4	-15 852	7 673
5	-13 204	13 002

2.3 桩顶非固接模型计算结果

分别计算各桩顶处的节点连接系数不同时,

码头排架水平受力状态的变化, 计算结果见图 9。

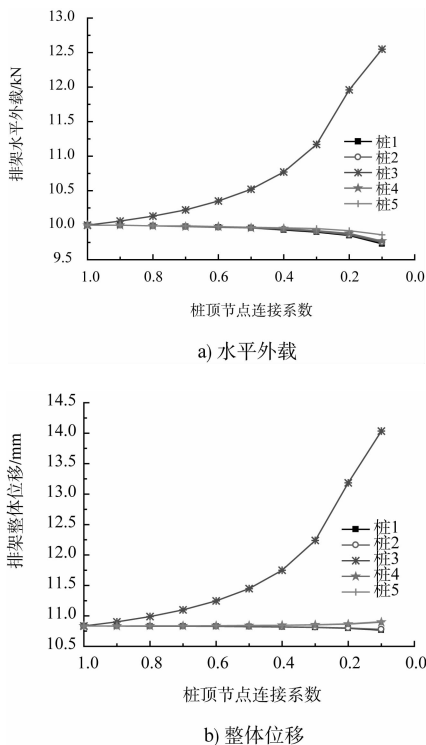


图 9 节点连接形式对排架整体位移的影响

从图 9 可以看出:

1) 桩 3 是排架最主要的受力构件, 当桩 3 顶部节点由固接逐渐向铰接变化时, 排架水平外载和整体位移呈现出逐渐增大的趋势, 这与全直桩码头结构不同, 分析其原因, 发现随着桩 3 节点连接系数的减小, 桩 1、桩 2、桩 5 承受的外载基本以相同的幅度上升, 但排架水平外载的控制位置仍为桩 3 顶部节点, 因此整体排架能承受的外载逐渐上升; 当桩 1、桩 2、桩 5 顶部应力基本达到与桩 3 一致时, 桩 3 顶部应力才开始降低。当桩 3 节点连接系数达到 0.1 时, 排架整体水平外载增加了 25.5%。

2) 桩 1、桩 2、桩 4、桩 5 节点由固接逐渐向铰接变化时, 由于桩 3 仍为主要承载构件, 码头排架荷载传递方式没有改变, 因此码头排架整体水平外载随着桩节点连接系数的减小而减小; 对于排架整体位移, 其随着桩 1、桩 2 节点连接系数的减小而减小, 随着桩 4、桩 5 节点连接系数的减小而增大, 这说明各桩顶节点损伤对排架整体刚度的影响程度不同。当桩 1、桩 2、桩 4、桩 5 节点连接系数分别达 0.1 时, 码头排架整体水平外

载分别下降了 2.7%、2.5%、2.3%、1.4%。

以上分析表明: 对于有斜桩的码头结构, 主要受力斜桩桩顶节点连接形式对码头的水平外载影响较大, 而其它各桩的桩顶节点连接系数的减小能使码头水平外载有所降低。

3 结论

1) 高桩码头排架在进行受力状态计算时, 桩梁节点的连接形式对其受力以及基桩位移均有较大影响。

2) 对于全直桩码头结构, 前排桩为主要受力构件, 其桩顶节点由固接逐渐向铰接变化时, 在应力控制条件下, 排架水平外载和整体位移呈现出先增大后减小的趋势; 其后各桩顶部节点由固接逐渐向铰接变化时, 排架水平外载降低较为明显。

3) 对于有斜桩码头结构, 作为最主要受力构件的桩, 其顶部节点由固接逐渐向铰接变化时, 在应力控制条件下, 排架水平外载和整体位移呈现出逐渐增大的趋势; 而其它各桩的桩顶节点连接系数的减小则使码头水平外载有所降低。

参考文献:

[1] 孙艺, 杨云兰. 海外港口工程钢管桩与上部结构连接方式探讨[J]. 水运工程, 2010(7): 78-81.

[2] Mehrain Mehrdad, Aalami Bijan. Rotational stiffness of concrete slabs [J]. Journal Proceedings, 1974, 71 (9): 429-435.

[3] Aydogan M, Akiiz A Y. A numerical approach to define the rotational stiffness of a prefabricated connection and experimental study [J]. Computers & Structures, 1995, 57(6): 999-1 007.

[4] France J E, Davison J B, Kirby P A. Moment-capacity and rotational stiffness of endplate connections to concrete-filled tubular columns with flowdrilled connectors [J]. Journal of Constructional Steel Research, 1999, 50: 35-48.

[5] Tizani W, Al-Mughairi Ali, Owen J S. Rotational stiffness of a blind-bolted connection to concrete-filled tubes using modified Hollo-bolt [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2013, 80: 317-331.

(本文编辑 武亚庆)