

高桩梁板式码头计算模型的选取

陈丽芳, 尚美涛

(中交上海港湾工程设计研究院有限公司, 上海 200032)

摘要: 为了解平面模型及空间模型的差异, 通过工程实例, 分别采用易工水运工程平面分析软件和 Robot 空间有限元分析软件进行计算, 分析比较不同荷载、不同模型对各构件内力的影响, 为未来高桩梁板式码头计算模型的选取提供参考。

关键词: 高桩梁板式码头; 平面模型; 空间模型; 有限元分析

中图分类号: U 656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)07-0062-04

Selection of calculation model for beam-slab wharf on high piles

CHEN Li-fang, SHANG Mei-tao

(CCCC Shanghai Harbor Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: To know the difference between the plane model and space model, we take a project as an example and establish structure calculation models by Yigong and Robot to analyze and compare each component's internal force under different loads and models, serving as reference for the selection of calculation model for the beam-slab wharf on high piles.

Keywords: beam-slab wharf on high piles ; plane model ; space model; finite element analysis

高桩码头是现今应用最为广泛的码头结构形式。在现行规范中, 通常都是将其简化为平面受力问题进行计算, 某些荷载作用下, 在一定程度上考虑其空间受力特性, 这使得大多数常规的高桩码头按平面计算基本能满足工程精度要求。现今大量的高桩码头平面计算程序, 如易工水运工程结构 CAD 集成软件、丰海港口工程计算软件, 因为计算方法明确、易于掌握, 被设计人员广泛运用。

然而随着自然条件的复杂化, 以及技术的不断成熟和思想的进步, 人们不再满足于常规的码头形式。图 1 为某大件码头桩位布置, 综合考虑装卸工艺、水工结构及工程造价, 采用中间墩台、

两侧各 4 榀排架的组合形式。JTS 167-1—2010《高桩码头设计与施工规范》^[1] (简称《高桩规范》) 在水平集中力的横向分力在排架中的分配系数表格中 (附录 A), 码头分段跨数最小为 5 跨, 本工程采用传统的平面计算根本无法满足要求。另一方面, 在平面计算的情况下, 也无法考虑墩台与排架的相互作用。因此采用空间建模计算无疑为最好的计算方法。

图 2 为振华港机某基地码头, 平面布置为直角三角形。该形式的码头结构空间特征明显, 采用传统的平面方法无法全面准确地分析结构受力, 迫切需要利用能够模拟实际工程的空间程序来计算。

收稿日期: 2014-12-02

作者简介: 陈丽芳 (1985—), 女, 硕士, 工程师, 从事港口工程设计工作。

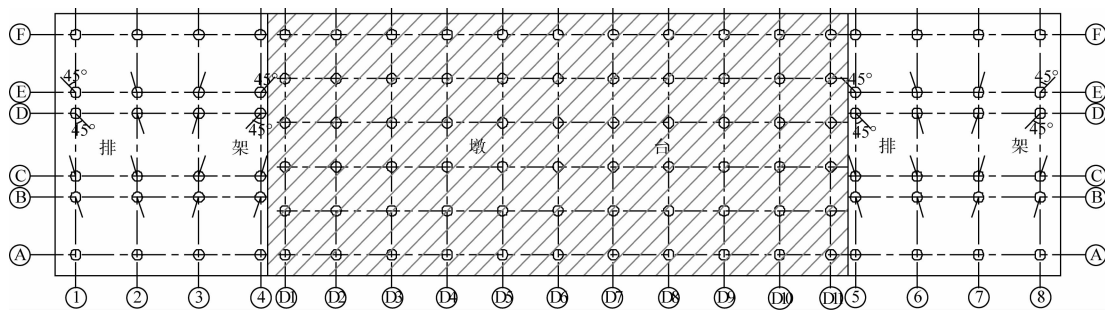


图1 某大件码头桩位布置

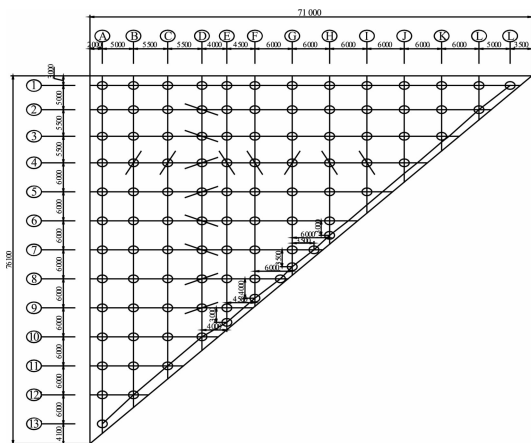


图2 振华港机某码头桩位布置

《高桩规范》在条款 4.1.6 和 4.3.12 中提及有关空间计算的规定, 近年来已经有许多学者对此方法进行了研究^[2-5]。然而由于规范中对于空间计算的规定较为笼统, 加上设计人员在不同工程上各自理解不同, 使得在不同工程中不同设计员有着不同的计算假定, 直接影响到设计成果的精度。

本文对高桩码头分别进行平面及空间计算, 对不同荷载不同模型下的各构件内力计算结果进行分析比较, 为未来空间计算和平面计算的建模及选取提供参考。

1 计算模型

平面计算采用在国内运用较为广泛的易工水运工程结构 CAD 集成软件中的高桩板梁式码头 CAD 计算模块。高桩板梁式码头 CAD 软件主要依据《高桩规范》等开发的工程辅助设计软件, 该

系统包含荷载前处理、作用效应计算、截面承载力验算、单桩抗拉抗压极限承载力验算、碰桩验算等多个计算功能模块。在进行高桩梁板码头计算时, 系统将空间结构按照横向排架为计算单元简化为平面杆系进行结构分析, 进而求解出横梁及桩基础内力结果。

空间建模采用 Robot Structural Analysis (简称 Robot) 软件的壳模块。目前国内外运用较为广泛的空间有限元计算分析软件有 Ansys、Robot、SAP2000 等, 相比之下, Robot 是偏于工程设计的, 是通用的结构分析设计软件, 也是最早的结构设计分析软件之一。Robot 提供了直观的一站式解决方案, 用户可通过表格和图形界面互动操作, 对象化快速建模, 提供多种 CAD 操作命令进行建模操作, 如复制、偏移、旋转, 并对实体模型进行操作。

2 典型案例

2.1 工程概况

某工程码头结构断面和桩位布置如图 3、4 所示: 码头总长 204 m, 宽 20 m, 码头共有 3 个分段, 每个分段共有 9 个排架, 排架间距为 8 m。码头上部结构由现浇横梁、预制纵梁和叠合面板组成, 下部桩基采用 $\phi 800$ PHC (B 型) 桩, 每榀排架布置 6 根基桩, 包含 2 根直桩和 2 对叉桩, 直桩桩长 33 m, 斜桩桩长 35 m。

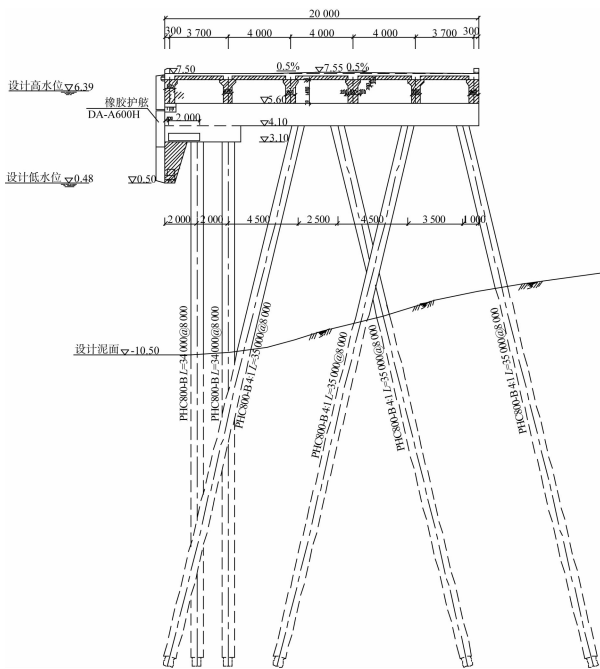


图3 码头结构断面 (高程: m; 尺寸: mm)

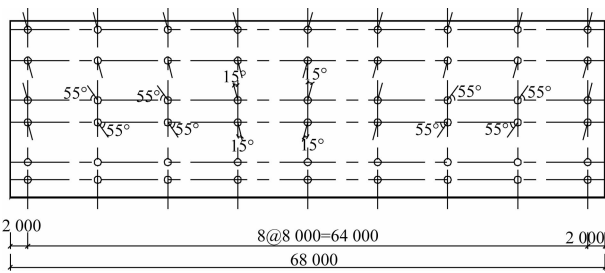


图4 码头桩位布置 (单位: mm)

2.2 码头计算荷载

- 1) 构件自重;
- 2) 均布荷载: 10 kN/m²;
- 3) 船舶荷载: 系缆力 1 300 kN, 与码头水平面夹角为 15°, 与码头前沿线夹角为 30°, 作用在第一榀排架上。

2.3 空间建模要点

分析参照《高桩规范》中提及的空间结构计算建模方法, Robot 空间建模的要点有:

- 1) 采用梁单元类型来创建纵梁、横梁和桩的结构模型, 节点相交处默认是固接。
- 2) 考虑面板作用: 将面板按薄壳单元建模, “弹性刚度” 设为有限单元类型 (壳), 此时板作为实际构件考虑, 程序计算考虑板的刚度和重度作用, 并按有限元法划分网格与扩散荷载。

3) 忽略面板作用: “弹性刚度” 设为没有有限单元, 即不划分有限元网络, 此时作为虚板, 不考虑板的刚度, 按照传统规范^[6]中双向板传力方式将荷载分配到横梁和纵梁上。

4) 等高空间计算: 考虑将面板中性面、纵梁和横梁中性轴建于同一高程;

5) 不等高空间计算: 纵横梁在建模时节点高程一致, 使用偏移选项达到按实际高程建模要求。

6) 采用 *m* 法模拟桩土间作用。

根据要点, 分别建立 5 种不同的模型进行比较。

模型 1: 平面计算, 易工水运工程结构 CAD 集成软件高桩板梁式码头 (图 5)。



图5 模型 1

模型 2: 等高空间计算, 面板中性面、纵梁和横梁中性轴建于同一平面, 考虑面板作用 (图 6);

模型 3: 等高空间计算, 面板中性面、纵梁和横梁中性轴建于同一平面, 忽略面板作用 (图 6);

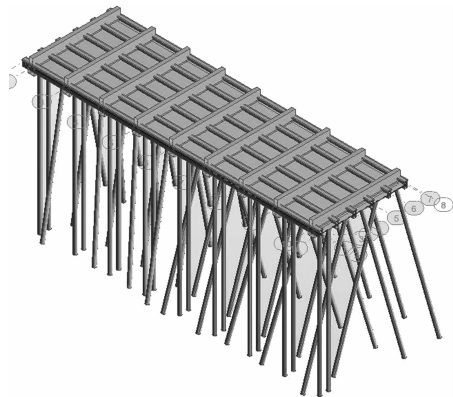


图6 模型 2、3

模型 4: 不等高空间计算, 梁、板按实际高程建模, 考虑面板作用 (图 7);

模型 5: 不等高空间计算, 梁、板按实际高程建模, 忽略面板作用 (图 7)。

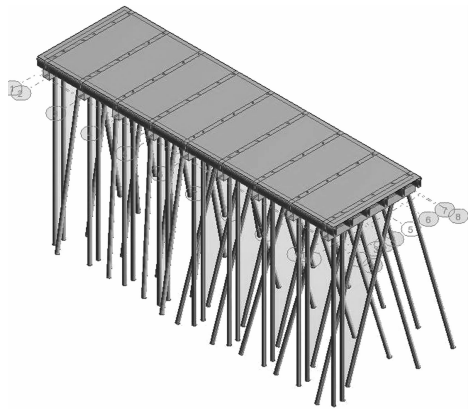


图 7 模型 4、5

空间建模时根据有限元模型建立的原则, 忽略码头附属设施构件, 故本次空间建模忽略了靠船构件、系船柱及水平撑等构件, 只对整个码头的桩基、横梁、纵梁及面板进行模拟。

2.4 计算结果

为区分竖向力与水平力对各种模型产生的影响, 分别采用 2 种工况进行对比:

1) 工况 1 (均为竖向荷载): $1.2 \times$ 自重 + $1.5 \times$ 均载。

2) 工况 2 (含水平荷载): $1.2 \times$ 自重 + $1.4 \times$ 系缆力 + $0.7 \times 1.5 \times$ 均载。

在各种工况下, 各模型计算结果见表 1。

分析比较表 1 工况 1 可知, 在竖向荷载作用下:

1) 模型 2 与 3、4 与 5 分别进行比较, 考虑面板作用与忽略面板作用模型的桩基内力、横梁剪力及纵梁剪力基本一致, 横梁、纵梁弯矩略小。

2) 模型 2 与 4、3 与 5 分别进行比较, 等高建模与按实际高程建模的桩基内力、横梁内力及纵梁剪力基本一致, 纵梁弯矩略小。

3) 模型 1 与 2、3、4、5 进行比较, 平面模型比空间模型桩基内力基本一致, 其他内力计算结果略大, 特别是纵梁内力相差较大。

表 1 各模型计算下的各构件内力值

工况	模型	桩基轴力/kN		桩基弯矩/(kN·m)		横梁弯矩/(kN·m)		横梁剪力/kN		纵梁弯矩/(kN·m)		纵梁剪力/kN	
		最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
1	1	1 710.26	1 365.03	53.85	-101.61	1 588.53	-1 075.32	1 173.83	-1 068.08	1 344.99	-583.93	790.52	-727.93
	2	1 623.97	1 075.8	60.22	-59.95	1 060.89	-1 039.15	1 013.06	-1 068.18	106.53	-165.05	475.91	-475.93
	3	1 628.62	1 008.53	59.74	-60.78	1 303.48	-963.85	1 009.44	-1 099.59	521.38	-675.25	490.66	-490.96
	4	1 640.78	1 042.37	48.28	-48.33	862.49	-747.43	1 002.19	-1 061.18	215.05	-337.62	490.61	-490.63
	5	1 653.18	1 011.10	48.29	-48.28	1 316.41	-976.72	1 029.35	-1 113.53	549.55	-679.04	495.93	-496.33
2	1	1 788.73	780.61	70.61	-119.22	1 408.98	-1 511.39	1 126.17	-1 067.53	1 344.99	-583.93	790.52	-727.93
	2	1 867.84	827.33	107.60	-97.00	971.43	-840.83	999.34	-1 077.44	192.21	-283.90	440.16	-435.19
	3	1 868.29	863.11	140.61	-110.20	1 468.52	-1 317.10	999.81	-1 049.13	510.44	-500.73	455.70	-439.59
	4	1 859.44	935.71	75.39	-80.97	1 597.30	-770.63	1 033.67	-1 081.81	371.55	-367.56	516.65	-411.54
	5	1 891.22	958.17	93.02	-97.55	2 021.08	-1 116.95	1 057.30	-1 093.57	1 210.18	-725.90	477.57	-423.23

分析比较工况 2 可知, 在含水平荷载作用下:

1) 模型 2 与 3、4 与 5 分别进行比较, 考虑面板作用与忽略面板作用模型的桩基内力、横梁剪力及纵梁剪力基本一致, 横梁及纵梁弯矩相对较小。

2) 模型 2 与 4、3 与 5 分别进行比较, 等

高建模与按实际高程建模的桩基内力、横梁剪力及纵梁剪力基本一致, 横梁及纵梁弯矩相对较小。

3) 模型 1 与 2、3、4、5 进行比较下, 平面模型比空间模型桩基内力基本一致, 其他内力变化规律则不明显。