



兼顾多用途泊位和重件桅杆吊的 码头工程设计

叶小红

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 鱼山码头既有集装箱出运功能, 又要提供后方绿色石化基地建设期间的砂石料、钢材及大件等运输服务功能。针对这一特点, 提出将多用途泊位和大件码头一体化建设。通过合理的平面布置以及桅杆吊分段采取纵向梁板与墩式结合的码头结构, 确保工程质量、安全, 加快了施工进度, 实施效果良好。

关键词: 重件; 桅杆吊; 结构形式; 桩基

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)05-0133-07

Wharf design considering both multi-purpose wharf and mast crane

YE Xiao-hong

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

Abstract: The Yushan wharf not only has the function of container transportation but also provides transportation services such as sand, steel, and heavy cargo during the construction of the rear green petrochemical base. For this characteristic, it is proposed to integrate the construction of the multi-purpose wharf and heavy cargo wharf. Due to the rational layout of the wharf, and adopting the structure of the combination of longitudinal beam slab and pier adopted in the section of mast crane, the construction quality and safety are ensured, and the construction progress is speeded up. The implementation effect is quite satisfactory.

Keywords: heavy cargo; mast crane; structure type; pile

根据国内沿海大型化工、电厂企业设计经验, 一般须考虑设置大件码头, 目前装卸重大件的码头多为专用码头^[1]。大件运输的临时性决定了在大件吊卸运输完毕后, 很多大件码头就此闲置, 造成资源的浪费。为最大限度地发挥码头的经济效益, 设计时可考虑增加一些机械设备, 将码头改建成材料码头或其它进出口码头^[2]。

本文以多用途码头(210 m 分段)为研究对象, 提出将多用途泊位和大件码头一体化建设, 通过合理的平面布置和结构形式, 兼顾多用途泊位和绿色石化基地建设期重件码头的功能需求, 为类

似工程提供参考。

1 工程概况

鱼山多用途码头位于大鱼山岛鱼山炼化区南围堤的东段岸线, 码头总长度 810 m, 见图 1。其中东段 210 m 长作为材料码头先行建设, 除用于满足营运期固体化工品(集装箱)的出运需要外, 还要满足后方绿色石化基地建设期间的砂石料、钢材及大件等运输服务的需求, 结构按 5 万吨级集装箱船设计。码头宽度为 60 m, 码头面高程 7.8 m(当地理论最低潮面), 码头前沿设计泥面高程-14.0 m。

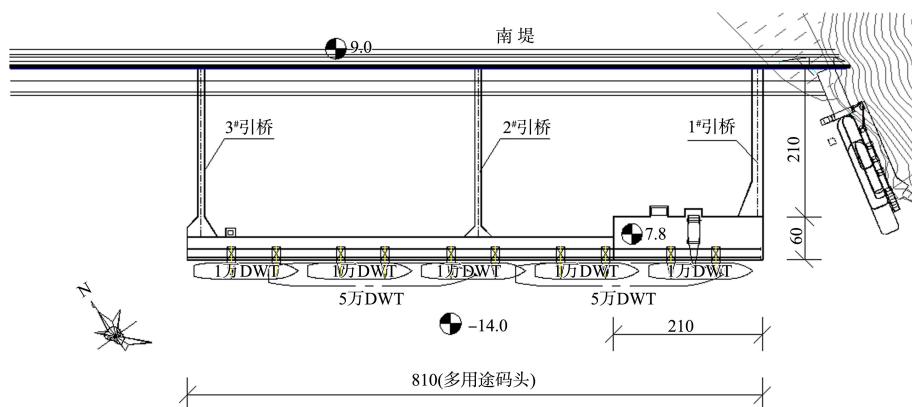


图 1 多用途码头工程平面布置 (单位: m)

2 工程特点

1)既要考虑集装箱出运功能，又要考虑大型化工设备吊装运输需求，合理布置码头平面、选择合适的码头形式和尺度是关键。

多用途码头(210 m 分段)是绿色石化基地的第一个码头，在石化基地建设期，需要满足砂石料、钢材以及大型化工设备的运输需求，石化基地建成后作为集装箱出运码头满足集装箱运输需求。

鱼山多用途码头的建设考虑结合 5 万吨级多用途泊位和 2 000 t 大件运输船靠泊及重大件上岸功能于一体，将大件码头与材料码头、产品出运码头的功能结合，予以一体化建设。

2)设计荷载复杂，水工结构同时适应大件和集装箱两种装卸工艺流程和荷载。

对于砂石料、钢材、少量集装箱货种，码头装卸船作业采用多用途门座起重机，并配备集装

箱吊具、抓斗及吊钩。砂石料卸船由门机抓取物料后，临时堆放在码头后平台上，再由自卸卡车、牵引车+平板车或集卡水平运输。

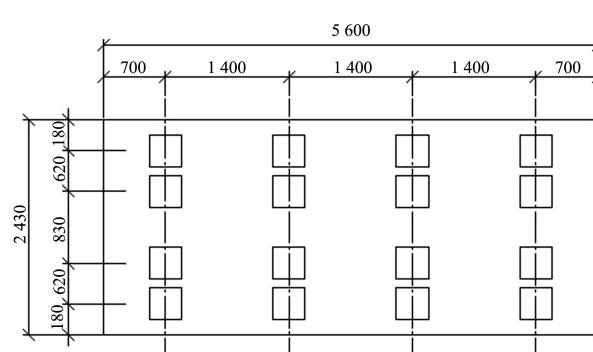
建设期间大型化工设备通过海运的方式抵港，一般采用浮吊、桅杆吊和滚装^[3]等 3 种重大件装卸工艺方式，鱼山多用途码头采用了 800 t 桅杆吊进行重大件的装卸，根据重大件的具体质量、尺度和运输要求进行组合式平板车的水平运输。

为了适应建设期大件运输为主、使用期集装箱运输为主的功能转换，码头设计荷载须同时满足门机、桅杆吊、集卡以及其他各类流动机械设备的使用要求。设计荷载如下：

①均布荷载：前平台 40 kN/m²，后平台 50 kN/m²。

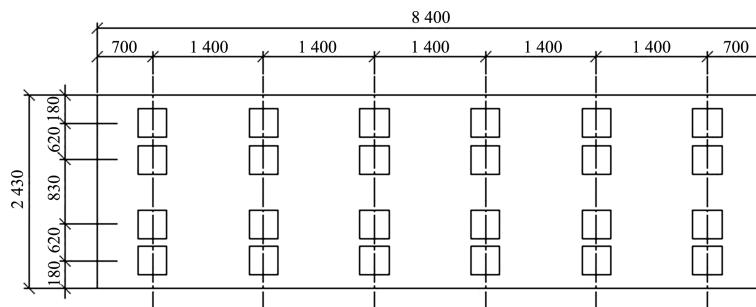
②40 t 多用途门机：最大轮压 500 kN，每腿 8 轮，两机间最小轮距 1.5 m。

③大件水平运输平板车流动荷载见图 2。



注：最大轴荷载 300 kN，其中自重力 40 kN，轴荷均匀分配至 4 个车轮。

a) 四轴线平板车



注：最大轴荷载300 kN，其中自重力40 kN，轴荷载均匀分配至4个车轮。

b) 六轴线平板车

图 2 大件平板车 (单位: mm)

④流动荷载：5 t 叉车、牵引车+平板车(10 t)、集装箱拖挂车、打支腿作业用的 70 t 汽车吊。

⑤桅杆吊荷载见表 1。

表 1 桅杆吊荷载

位置	点	向上最大拉力/MN	向下最大拉力/MN	前后最大水平力/MN	左右最大水平力/kN
骨架下铰点	a 点	-	10	9.4	940
	b 点	-	10	9.4	940
人字架前撑点	c 点	-	9	-7.5	750
	d 点	-	9	-7.5	750
人字架后拉点	e 点	11.8	-	-	-
	f 点	11.8	-	-	-

注：骨架下铰点、人字架前撑点位于前支腿，人字架后拉点位于后支腿。

3) 作为绿色石化基地的第一个码头，建成后需提供后方绿色石化基地建设期间的砂石料、钢材及大件等运输服务，工期紧迫。

作为大型化工厂区的配套码头，承担着施工

期库区大件以及砂石料、钢材等材料的上岸功能和投产后部分产品(集装箱化)的出运功能。因此，配套码头及大件码头的设计方案及建设进度非常重要，特别是大件码头的建设，宜先行施工，配合库区的建设，确保整体项目的按期投产。

3 码头平面布置

3.1 码头宽度

码头宽度主要考虑装卸工艺布置和车辆通行要求，码头装卸船作业采用多用途门座起重机，砂石料卸船由门机抓取物料后，临时堆放在码头后平台上。码头同时具备上重大件功能，采用桅杆吊进行装卸。综合考虑码头功能使用要求，码头宽度取 60 m，总长度 210 m，从东向西分别为第一分段、桅杆吊分段和第三分段。码头第一、三分段宽 60 m，桅杆吊分段长度 40 m，有桅杆吊的 24 m 长度范围码头宽度为 75 m，见图 3。

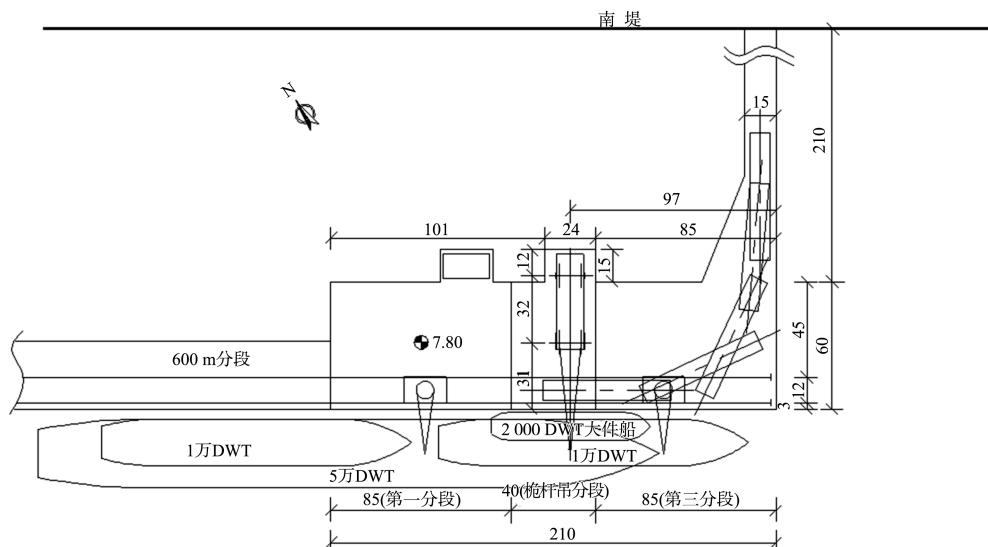


图 3 码头平面布置 (单位: m)

桅杆吊设置在码头某固定位置，当船舶所运输大件的数量较多时或不在可作业范围内时，进行移船或船舶掉头，以便装卸重大件。绿色石化基地建成后，可拆除桅杆吊，取消大件码头功能，成为集装箱码头。在常规段码头宽度 60 m 的基础上仅局部加宽 15 m 至 75 m，加宽段长度仅为 24 m，投资增加相对较小。经初步匡算，桅杆吊平台费用加设备费用比长期租用浮吊费用略低，且作业较为平稳，因此将 5 万吨级泊位和大件码头相结合建设是比较合理的方案。

3.2 桅杆吊平面位置

桅杆吊平面位置与重大件设备的尺度、形状及水平运输车辆初始位置、运行轨迹动线有关联，考虑吊装大件尺度和水平运输车辆最小转弯半径，经过运输轨迹动线模拟，确定桅杆吊中心距离泊位边线 97 m。

根据桅杆吊自身尺度，考虑装卸作业过程中重大件不与臂架干涉，且不进行重大件装卸作业时多用途门机可通过桅杆吊悬臂架为原则，确定桅杆吊悬臂架铰点距离码头前沿 31 m。当桅杆吊非作业状态时，门座式起重机可在其臂架前通行，见图 4。

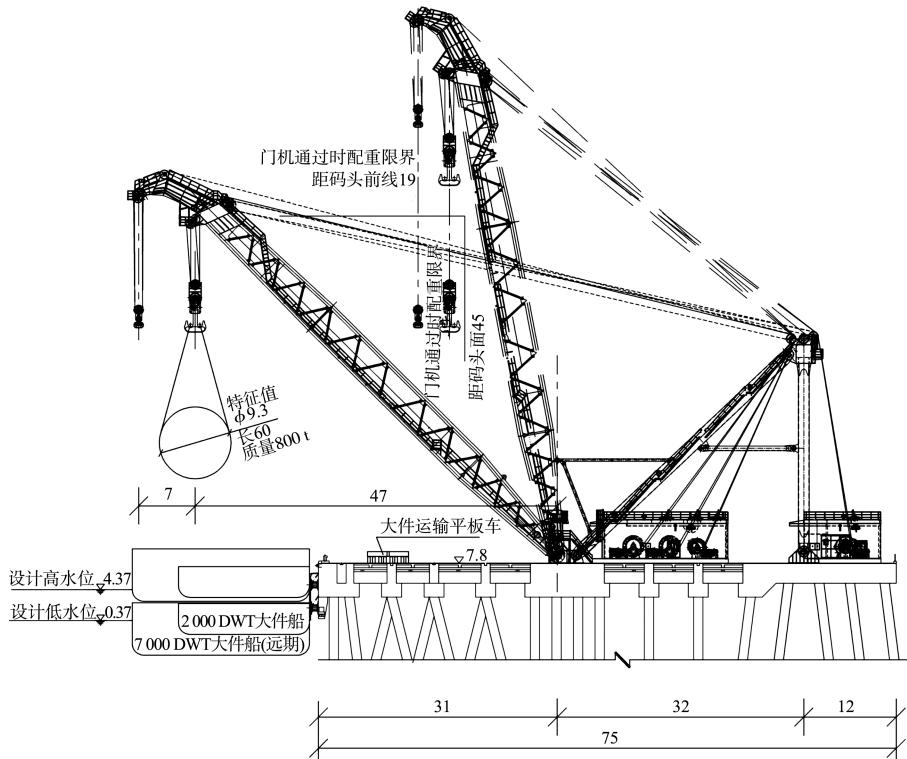


图 4 桅杆吊断面 (单位: m)

出于节约岸线资源、节约投资的考虑，采用多用途码头局部范围兼顾重件码头的平面布置形式是比较合理的。

平台尺度大、大件平板车转弯半径大的特点。码头设计荷载须同时满足门机、桅杆吊、集装箱拖挂以及其他各类流动机械设备的使用要求。

工程区域为典型海岛地质类型，岩面由岛屿向海侧向下倾斜。大部分区域覆盖层底部为岩层，上部以淤泥质土及灰色黏土、粉质黏土为主。码头、引桥采用桩基结构，该结构具有以下优点：自质量较轻，利用基桩达到合理的持力层，上部结构变形小、透空性好，部分结构可采用预制装

4 码头结构

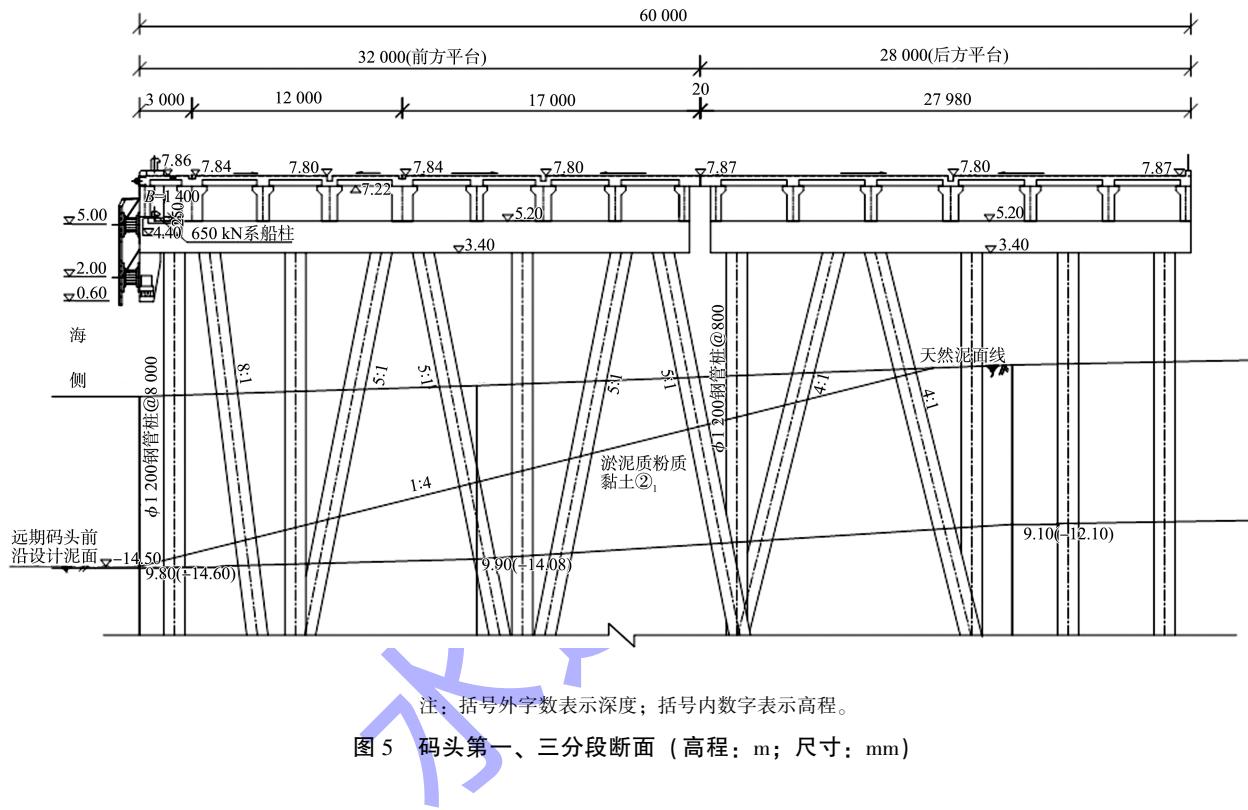
4.1 码头结构形式

鱼山多用途码头的建设需要结合 5 万吨级多用途泊位和 2 000 t 大件运输船靠泊及大件上岸功能于一体，并兼顾大件作业段码头设计荷载大、

配构件，施工速度快等。

码头第一、三分段分为前后方两个平台。水平荷载仅由前方平台承受，后方平台主要承受竖向荷载。前方平台宽32 m，排架间距8 m，基桩采用φ1 200 mm钢管桩，每榀排架布置8根桩，其中2对叉桩。上部结构采用现浇横梁、叠合式

预应力轨道梁、预制纵向梁及叠合式面板，通过现浇面层连成整体。后方平台宽28 m，排架间距8 m，基桩采用φ1 200 mm钢管桩，每榀排架布置6根桩，其中1对叉桩。上部结构采用现浇横梁、预制纵向梁及叠合式面板，通过现浇面层连成整体，见图5。



桅杆吊段结构设计上，大型船舶靠船平台和重件装卸平台常需采用独立结构，分别承受较大的船舶水平荷载、轨道设备荷载和较大的桅杆吊垂直荷载。靠船平台可采用多种高桩形式，桅杆吊基础多采用高桩墩式结构。但是，对于货物码头兼顾重件码头的结构设计，分离结构会产生结构间相对位移，对常规货物装卸设备和桅杆吊布置存在限制。此外，结构基础不能协同承受荷载，造成结构桩基数量增加。桅杆吊分段采取兼顾大型船舶和重件桅杆吊的纵向梁板与墩式结合的码头结构，较好地适应大型船舶靠泊、装卸作

业及重件桅杆吊装卸的工艺要求，节省工程桩基数量。桅杆吊平台段长度为40 m，有桅杆吊的24 m长度范围码头宽度为75 m，其余为60 m。基桩采用φ1 200 mm钢管桩。桅杆吊前支腿向下最大压力达19 MN，共计2个；桅杆吊后支腿向上最大拉力达11.800 MN，共计2个。荷载较大，梁板结构难以满足荷载要求。故桅杆吊前、后支座处采用现浇墩台结构，其余部分为纵向梁板结构。采用现浇纵向梁、叠合式横梁及叠合式面板，通过现浇面层连成整体，见图6。

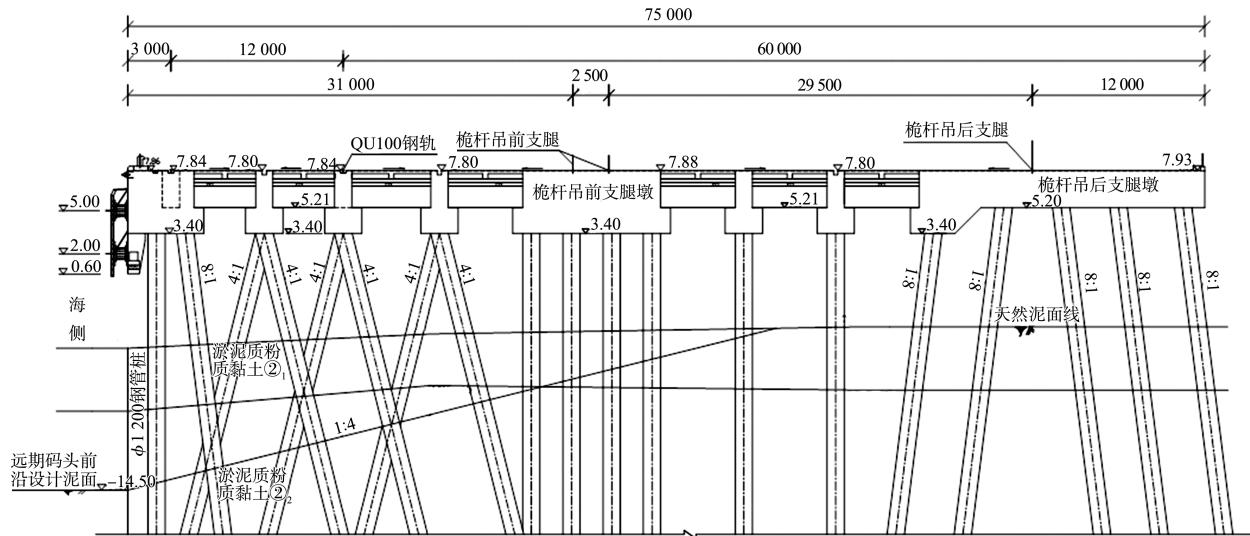


图 6 码头桅杆吊分段断面 (高程: m; 尺寸: mm)

将 5 万吨级泊位和大件码头相结合建设，采用引桥加高桩结构码头方案，是完全可行的，它具有透水性能好、对后方驳岸影响最小、接岸结构容易施工、对后方驳岸安全基本没有影响等优点。

4.2 选择合理的桩基形式

鱼山多用途码头工期较紧，其主要制约因素为沉桩是否顺利。桩基持力层含黏性土碎石或凝灰岩，要求桩基耐锤击性能较高。钢管桩相对于混凝土管桩，桩身的抗弯抗拉能力强、自质量轻、耐锤击性能好^[4]，适合于外海深水、自然条件较差的区域，但造价较高，在海洋环境下的耐久性差，需要有效的防腐措施。为确保整个项目按时完工，为后续项目的建设提供保障，综合各方面因素，采用钢管桩。

引桥区域覆盖层从引桥头部到根部逐渐递减，考虑到覆盖层厚度及船舶施工吃水要求，引桥近岸段采用 $\phi 1200$ mm 灌注桩。为保证引桥接岸段结构安全，原则上要求南围堤堤身基本稳定后方可进行接岸段引桥结构施工。先行施工引桥桩基影响范围的陆域回填、地基处理，或者该范围内部分陆域采用爆破挤淤进行地基处理，完成后再进行引桥桩基施工。围堤堤身稳定后进行引桥结构的施工存在困难，为保证灌注桩结构的安全性，

在堤身范围内灌注桩采用双护筒，见图 7。考虑到后方围堤可能对桩基产生向海侧的位移，在 $\phi 1200$ mm 灌注桩外侧加一层外套筒以承担向海侧的土压力，避免土压力直接作用在灌注桩结构。通过观测施工期及后续的沉降位移，均未超过设计限值，结构安全。

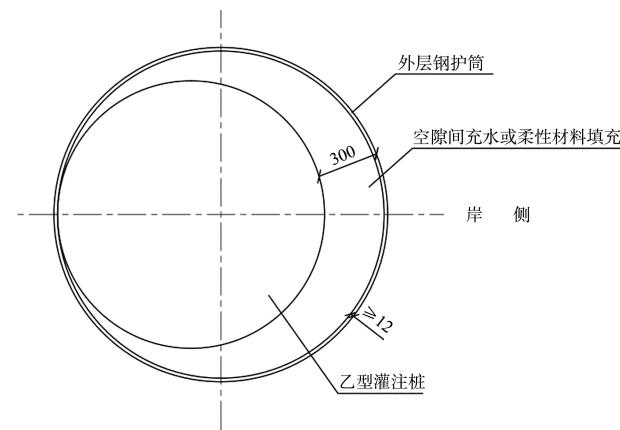


图 7 灌注桩双套筒 (单位: mm)

4.3 内力分析

码头常规段结构简化为平面排架计算，见图 8。桩基采用假想嵌固点法，其余假定同现行《码头结构设计规范》^[5] 进行结构计算。桅杆吊分段采取纵向梁板与墩式结合的码头结构，桩基布置并不对称，故采用 Robot 空间计算软件对码头结构进行三维建模计算，见图 9。

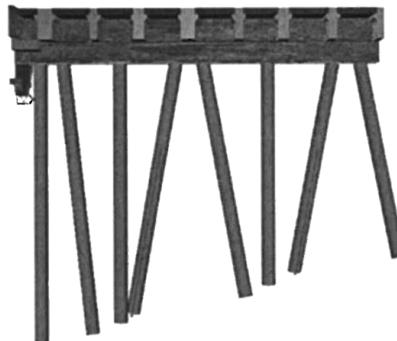


图8 常规段平面计算模型

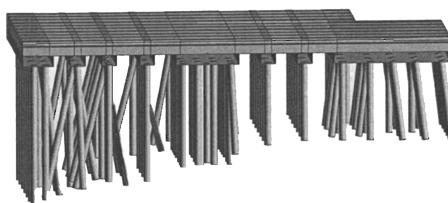


图9 桅杆吊分段三维计算模型

码头前方平台主要构件内力为：最大压桩力 6.540 MN，最大拉桩力 1.040 MN，最大应力 175 MPa，横梁最大正弯矩 20.044 (MN·m)，横梁最大负弯矩 13.215 (MN·m)，横梁最大剪力 7.147 MN。位移 12.85 mm。

码头后方平台主要构件内力为：最大压桩力 5.871 MN，最大拉桩力 1.167 MN，最大应力 112 MPa，横梁最大正弯矩 14.700 MN·m，横梁最大负弯矩 11.136 MN·m，横梁最大剪力 4.210 MN。位移 4.98 mm。

桅杆吊分段桩力为：最大压桩力 6.473 MN，最大拉桩力 1.852 MN，最大应力 265 MPa。位移 7 mm。

经内力分析，码头桩力和位移均能满足设计要求。

5 结语

1) 多用途码头(210 m 分段)设计中将 5 万吨级多用途泊位和 2 000 t 大件运输船靠泊及大件上岸功能结合于一体，提出了能合理使用的兼顾方案。

2) 桅杆吊分段采取兼顾大型船舶和重件桅杆吊的纵向梁板与墩式结合的码头结构，能较好地适应大型船舶靠泊、装卸作业及重件桅杆吊装卸的工艺要求。

3) 在工期较紧的情况下，进行合理的桩基设计，并采取措施确保桩基安全，在堤身范围内灌注桩采用双护筒，在类似工程的设计中可考虑应用。

4) 码头投产使用至今，结构可靠、装卸运输大件安全便捷、投资省、经济效益好，同时还满足了后方绿色石化基地建设期间的砂石料、钢材等运输服务的需求。

参考文献：

- [1] 周侃, 张晶华, 余华军. 神华九江电厂码头重大件吊装设计[J]. 港口装卸, 2017(2): 46-48.
- [2] 张俊, 夏悟民, 白帆, 等. 国内核电厂大件码头总体设计要点[J]. 水运工程, 2015(4): 126-131.
- [3] 雷雨顺, 金嘉晨, 黄玲波, 等. 重大件货物的装卸工艺及其发展[J]. 中国水运(下半月), 2010, 10(3): 80-82.
- [4] 方育平, 何文钦. 大中型高桩码头不同类型桩基结构的应用与分析[J]. 水运工程, 2009(7): 87-92.
- [5] 中交第一航务工程勘测设计院有限公司. 码头结构设计规范: JTS 167—2018 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.

(本文编辑 武亚庆)

欢迎投稿

欢迎订阅