

盘锦某应急泊位工程码头结构设计要点



邓 薇

(大连理工大学土木建筑设计研究院有限公司, 辽宁 大连 116023)

摘要: 针对盘锦某小型应急泊位工程码头结构设计问题, 考虑工程所在区域自然条件及码头设计船型的特点, 根据国内规范和以往工程经验, 确定适合本工程的码头结构形式和桩基形式, 并总结在潮差较大、船型多样、地震惯性力大、冰情严重区域的小型码头结构设计要点。结果表明, 高桩梁板式码头结构对水深较浅的砂质地质有更好的适应性, 设置多处叉桩的钢管桩桩基结构能够满足码头承载力和抗震抗冰的要求, 双层系缆平台能够兼顾水位差较大情况下不同船型的安全系泊, 下层系缆平台预制走道板迎冰面采用棱角形结构可有效抵抗冰荷载。

关键词: 结构设计; 双层系缆; 地震惯性力; 冰荷载

中图分类号: U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)04-0049-05

Key structural design points for an emergency berth engineering wharf in Panjin

DENG Qiang

(Design Institute of Civil Engineering & Architecture of DUT Co., Ltd., Dalian 116023, China)

Abstract: In view of the structural design of a small emergency berth engineering wharf in Panjin, we consider the natural conditions of the area where the project is located and the characteristics of the design ship types for the wharf, and determine the wharf structure and pile foundation suitable for the project according to the domestic codes and previous engineering experience. We also summarize the key structural design points for small wharves in areas with large tidal ranges, various ship types, large seismic inertia forces, and severe ice conditions. The results show that the high-piled beam-slab wharf has better adaptability to shallow sandy geology. The steel pipe pile foundation with multiple fork piles can meet the requirements of wharves for load-bearing capacity and seismic and ice resistance. The double-layer mooring platform is equipped for the safe mooring of different types of ships in the case of large water level differences. The ice load can be effectively withstood by an angular shape on the ice-facing surface of the prefabricated walkway slab of the lower mooring platform.

Keywords: structural design; double-layer mooring; seismic inertia force; ice load

随着我国原油进出口行业的繁荣, 港口船舶贸易量也急剧增长, 年进口原油的数量早已突破1亿t大关^[1], 随之而来的是较为严重的船舶溢油污染风险。近年来, 我国港口溢油事故呈现上升趋势, 码头通常是溢油事故频发区域, 因此应作为防控的重点地段。

目前, 我国港口油品码头已逐步建立了溢油应急设备库。根据《港口码头水上污染事故应急防

备能力要求》^[2]《国家船舶溢油应急设备库设备配置管理规定(试行)》^[3]以及《船舶溢油应急能力评估导则》^[4]的要求, 在码头投入使用前应配备满足标准所规定数量的应急设备及物资, 科学设置应急库和工作船码头。一旦发生事故, 能够快速响应, 迅速将污染物控制在港区范围内, 最大限度减少事故溢油扩散面积以及对周边海域水质和生态环境的影响。

根据《盘锦市防治船舶及其有关作业活动污染海洋环境应急能力建设规划(2018—2025年)》^[5], 荣兴港区规划建设能覆盖辖区和30万吨级原油码头的二级应急设备存储体系, 包括: 水域部分新建一座应急工作船码头及其配套设施, 陆域部分新建应急设备库、固体废弃物仓库、含油污水罐、回收物资暂存场地等设施及其配套设施。

本文仅针对该拟建应急泊位工程码头结构设计要点进行分析, 为同类工程提供借鉴。

1 工程区建设条件

1.1 设计要求

按四道沟水文站实测验潮资料和1952—1972年潮位极值资料, 本工程水位为: 设计高水位4.25 m, 设计低水位0.19 m, 极端高水位5.32 m, 极端低水位-0.52 m。

工程位于辽河口西侧, 盘锦港荣兴港区西作业区西二突堤南端, 靠近西防波堤一侧, 波浪掩护条件较好。常浪向和强浪向均为SSW向, 设计波浪重现期为50 a时, 码头前沿 $H_{1\%}$ 波高达1.35 m, 波浪平均周期为6.8 s。

1.2 潮位和海流

港区潮型属规则半日潮。平均涨潮历时5 h左右, 平均落潮历时7~8 h, 落潮历时大于涨潮历时。受口门环流影响, 最大横流流速0.36 m/s。

1.3 冰况

辽东湾是我国所处纬度最高的海区, 也是我国冰情最严重的区域。港区位于辽东湾顶部, 冰情更为严重。

由于港区位于河流入海口, 水深流急, 海冰不易固结。在正常年份, 除近岸约有长5 km的固定冰带外, 其余均为流冰。浮冰带在风、流等综合作用下往复运动。流冰方向、速度和风、潮流的方向密切相关, 在冰情严重期, 可出现厚度超过10 cm的灰冰、灰白冰、白冰。

2009—2010年冬季, 盘锦遭遇了前所未有的低温, 最低气温为-24.8 ℃, 创3年来的最低值。盘锦港同时遭遇了严重海冰灾害, 据2010年1月的

现场观测结果, 港区全部封冻, 最大冰厚达50 cm。

结合当地海冰情况及《港口工程荷载规范》^[6], 设计冰厚采用47.6 cm。

1.4 地质

工程地处辽河三角洲前缘, 海陆交互频繁, 地层成因复杂, 表层主要以第四系海相沉积层为主。整个场地揭露的土层自上而下为: 淤泥层顶高程约为-5.8 m, 平均层厚3.8 m; 淤泥质粉质黏土平均层厚3.3 m; 粉土平均层厚2.4 m; 中密-极密实粉细砂平均层厚10.8 m, 标贯击数为23击; 粉质黏土平均层厚1.4 m, 标贯击数为17击; 极密实粉细砂层顶高程约为-27.5 m, 平均层厚22.8 m, 标贯击数为44击。各层桩基参数见表1。

表1 桩基参数

土层	钢管桩和混凝土桩	
	极限侧摩阻力 标准值 q_u/kPa	极限端阻 力标准值 q_R/kPa
淤泥	4	-
淤泥质粉质黏土	9	-
粉土	35	-
中密-极密实粉细砂	79	-
粉质黏土	76	1 600~2 500
极密实粉细砂	89	4 590

1.5 地震

该地区地震抗震设防烈度为7度, 场地类别为Ⅲ类。根据《水运工程抗震设计规范》^[7]和《中国地震动参数区划图》^[8]有关规定, Ⅱ类场地地震动峰值加速度为0.15g, 地震动反应谱特征周期为0.40 s。根据《中国地震动参数区划图》表1和附录E调整后, 本工程地震动峰值加速度值为0.172 5g, 特征周期为0.55 s。

1.6 工艺荷载

考虑20 kPa的码头均载和流动机械荷载, 包括40 t汽车吊、10 t平板拖车和5 t叉车。

2 建设规模

根据盘锦市海洋污染应急能力建设需求和港区30万吨级原油码头应急设备的配备需求, 拟新建一个应急泊位及其配套设施, 其码头长度135 m、平台宽度12 m、顶高程6 m, 通过东、两侧两座栈桥与后方陆域相接。

根据盘锦港现有工作船舶使用情况及国内溢油应急船发展现状及趋势，结合港区 30 万吨级原油码头对所需溢油回收船能力的要求，预计到港溢油应急船长度为 70 m 左右；除溢油应急船外，其他工作船如拖消船、围油栏布放艇、小型油污水回收船长度在 10~40 m。设计船型主尺度见表 2。

表 2 设计船型主尺度

设计船型	总长/m	型宽/m	型深/m	满载吃水/m
拖消船	40	11.5	5.4	4.3
溢油回收船	71	16.0	5.6	4.2
围油栏布放艇	14	3.8	1.5	1.0

注：溢油回收船的回收舱容 $\geq 300 \text{ m}^3$ ，收油能力 $\geq 150 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

3 设计要点

3.1 结构方案选取

根据工程地质勘探资料揭示，下层粉细砂层呈极密实状态，分布普遍且层位稳定，厚度较大、力学指标较高，宜作为码头基础持力层。

根据地基情况，本工程宜采用桩基结构或重力式结构。由于工程位置处水深较浅，泥面高程在 -6~-5 m，重力式结构挖泥量较大，工程造价较高。另外，桩基结构可减少码头立面对波浪反射，避免恶化水域条件，因此，本工程考虑桩基结构方案。码头标准断面如图 1 所示。

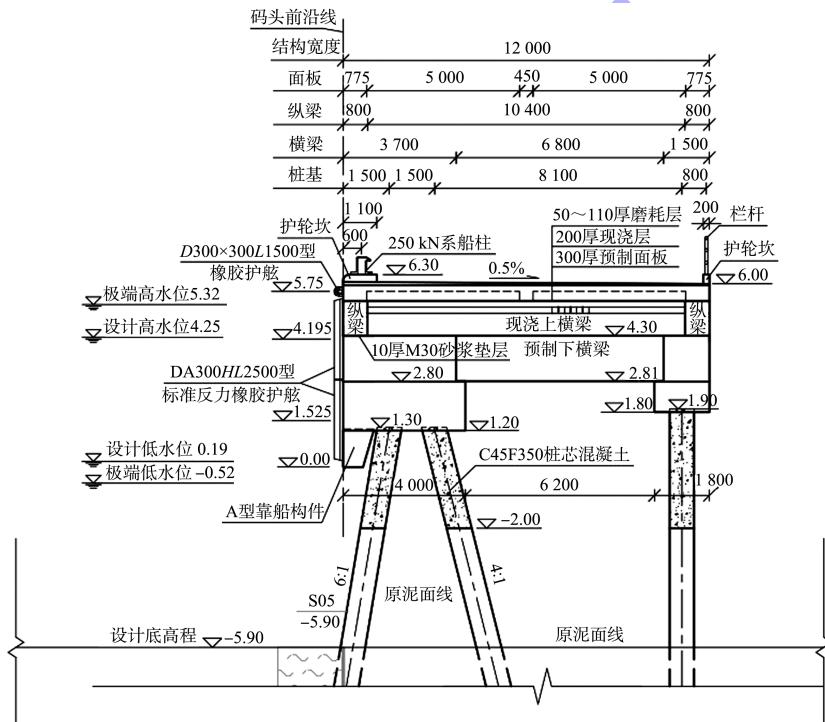


图 1 码头标准断面 (高程: m; 尺寸: mm)

3.2 桩基设计

为满足桩基承载力要求，桩基须伸入极密实粉细砂层，常规的预应力高强混凝土桩 (PHC 桩)、大管桩等施工难度较大、抗超载能力弱，沉桩较为困难，施工速度难以保证；且本工程位于北方冻融地区，从桩基耐久性及承受水平荷载能力方面综合考虑，码头平台基础选用钢管桩结构。

桩基内力计算采用丰海 PJFX 码头排架综合分析计算软件，计算模式为上端固接、下端弹性嵌固的平面刚架。桩基抗压承载力采用经验参数法

确定，抗拔承载力按打入桩计算；本工程码头工作平台长 135 m，根据《码头结构设计规范》^[9]宜分两个结构段，考虑工作船码头特点，排架间距不宜过大，本次提出两种不同桩基布置方案进行比较：

1) 方案 1 共 23 榻排架，排架间距 6 m，每榣排架基础采用 3 根 $\phi 800 \text{ mm}$ 钢管桩，其中码头前沿为 1 对叉桩，斜率分别为 6:1 和 4:1，码头后沿 1 根直桩，每个结构段两侧各设置 2 组纵向叉桩，桩底高程均为 -42.0 m。

2) 方案 2 共 26 榔排架, 排架间距 5.25 m, 每榔排架基础采用 3 根 $\phi 700$ mm 钢管桩, 其他同方案 1。

两方案差别在于排架间距和桩径。经计算, 桩基内力均满足承载能力设计要求, 综合比较, 方案 1 更经济且打桩数量少、施工更快, 因此选用方案 1。

3.3 系缆设计

为减少低水位情况下小型船舶吊缆情况, 满

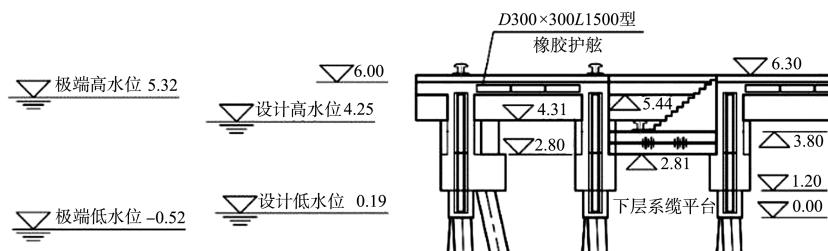


图 2 双层系缆平台断面 (高程: m; 尺寸: mm)

3.4 抗震设计

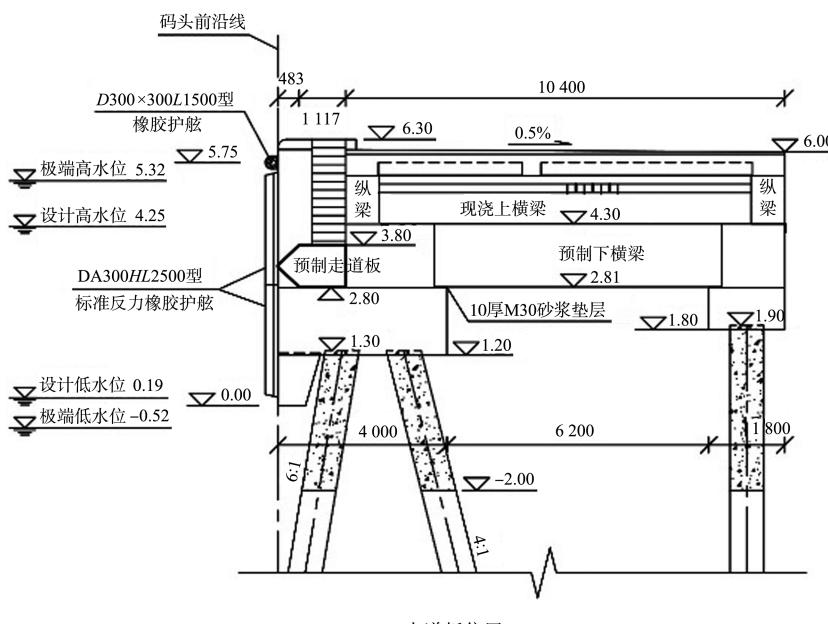
经计算, 码头平台水平地震惯性力标准值为 464 kN。本工程采用横向排架设置 1 对叉桩和 1 根直桩, 以抵抗横向水平地震惯性力; 码头每个结构段两侧布置 2 组纵向叉桩, 以抵抗纵向水平地震惯性力。

3.5 抗冰设计

工程所在地多为流冰作用, 流冰产生冰压力相对较小。冰排作用情况的极限冰压力对结构破

坏性最强。

首先核算冰排在直立桩、桩帽前连续挤碎时极限冰压力, 冰排作用在靠近码头前沿的第 1 根叉桩上的极限挤压冰力标准值为 514 kN, 作用在桩帽上的极限挤压冰力标准值为 982 kN, 桩基内力均满足承载能力设计要求; 其次, 下层系缆平台预制走道板的迎冰面设计为棱角形, 夹角为 90°, 迎冰面形状系数将折减为 0.69, 有效减小了极限挤压冰力。预制走道板结构如图 3 所示。



a) 走道板位置

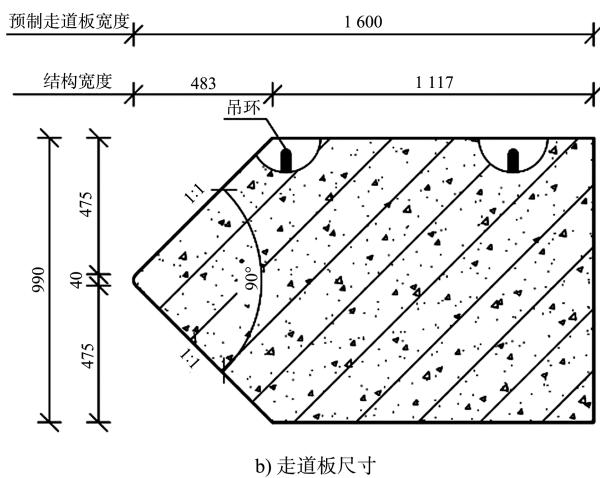


图3 预制走道板 (高程: m; 尺寸: mm)

4 结语

1)此类配套应急泊位工程，既要满足其服务港区或码头溢油应急状态的处置要求，又要兼顾传统工作船泊位的属性。纵观全国，港口码头溢油应急能力建设工作已经取得一定成果，但仅有少数油品码头配备了专业溢油应急处置船，绝大多数码头的溢油应急措施仍局限于少量的吸油毡和消油剂。为响应国家和行业标准，该应急泊位码头应运而生，具有很强的代表性和可参照性。

2)工程区域自然水深较浅，以砂质地基为主，持力层标贯击数大且地处北方冻融地区承受水平荷载较大，因此采用桩基基础为钢管桩的高桩梁板式码头结构。考虑到可能出现地震惯性力作用，横向排架和纵向排架方向均设置叉柱。

3)针对小型船舶干舷顶高程较低的情况，多采用双层或多层系缆平台设计，以满足不同水位不同尺度船舶的系缆要求。下层系缆平台顶高程的确定应综合考虑系缆和水文因素，尽量保证使用率。下层系缆平台冬季易结冰问题不容忽视，通过设置安全防护栏杆、防滑台阶和及时除冰等

措施解决。

4)该码头地处辽东湾顶部，冰情严重。设计中，考虑将下层走道板迎冰面设计为棱角形以有效抵抗冰荷载。为了保证结构安全，冬季重冰期应及时启动破冰船等有效的保障措施，避免形成冰排，同时码头顶面也应采取防滑措施。

参考文献：

- [1] 黄杰,邸锦疆.对港口码头配备溢油应急设备的探讨[J].世界海运,2011,34(6):43-45.
- [2] 烟台海事局烟台溢油应急技术中心,交通运输部规划研究院,大连海事大学.港口码头水上污染事故应急防备能力要求: JT/T 451—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [3] 交通运输部规划司.国家船舶溢油应急设备库设备配置管理规定(试行)[R].北京:交通运输部规划司,2008.
- [4] 中华人民共和国山东海事局,中国海事局船舶烟台溢油应急技术中心.溢油应急能力评估导则: JT/T 877—2013[S].北京:人民交通出版社,2013.
- [5] 盘锦海事局.盘锦市防治船舶及其有关作业活动污染海洋环境应急能力建设规划(2018—2025年)[R].盘锦:盘锦海事局,2018.
- [6] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.港口工程荷载规范: JTS 144-1—2010[S].北京:人民交通出版社,2010.
- [7] 中交水运规划设计院有限公司.水运工程抗震设计规范: JTS 146—2012[S].北京:人民交通出版社,2012.
- [8] 中国地震局地球物理研究所,中国地震灾害防御中心,中国地震局工程力学研究所.中国地震动参数区划图: GB 18306—2015[S].北京:中国标准出版社,2015.
- [9] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司,中交第三航务工程勘察设计院有限公司,中交第四航务工程局有限公司.码头结构设计规范: JTS 167—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.