

中化泉州 30 万吨级岛式原油码头设计要点



杨克勤

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要:为了总结和推广超大型外海孤岛式码头的设计建造经验,以中化泉州 30 万吨级岛式码头设计为例,提出了该项目需解决的几个关键技术问题,如:工作船泊位和大型油船作业标准的协调问题,波浪、地质变化大的 45 万 t 码头水工建筑物结构设计问题,海底管道固定问题及消防取水安全保障问题。通过分析波浪地质条件、优化码头平面布置、计算荷载及创新结构构造,有效解决了上述问题。

关键词: 岛式码头; 45 万 t 码头; 海底管道

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)03-0092-06

Design essentials of Sinochem Quanzhou's 300,000-ton island crude oil terminal

YANG Ke-qin

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: To summarize and promote the design and construction experiences of a super large offshore island-type jetty, taking the design of the 300,000-ton-class jetty of Sinochem Quanzhou as an example, several key technical problems to be solved in the project are proposed, such as coordination of work ship berths and operation standards of large oil tankers, the structural design of the 450,000-ton terminal with large waves and large geological changes, the fixation of submarine pipelines, and fire protection water safety guarantee. By analyzing the wave geological conditions, optimizing the layout of the wharf, calculating the load, and innovating the structure, the above problems have been effectively solved.

Keywords: island terminal; 450,000-ton terminal; submarine pipeline

1 工程概况

中化泉州 1 200 万 t/a 炼油项目主厂区地处福建省泉州市泉惠石化园区。为满足项目原料运输需要,在黄干岛建设 1 个 30 万吨级原油码头。由于工程区域水深、地理环境等制约,同时工程拟依托的黄干岛陆域尚未开发,无依托条件,工程码头需要按照岛式码头建设,码头卸油通过约

1.42 km 海底管线进入青兰山库区。项目建设规模为^[1-2]:建设 1 个 30 万吨级原油接卸泊位(水工结构按靠泊 45 万 t 油船预留)及相应配套设施,码头长度 455 m,设计通过能力 1 800 万 t/a;建设 1 个工作船泊位,码头长度 52.5 m。根据项目前期的相关水文观测、数模和物模研究成果,30 万吨级油码头前沿线方位角取 152°~332°,码头前沿线布置在天然水深-24 m 处,码头总体平面布置见图 1。

收稿日期: 2020-06-05

作者简介: 杨克勤 (1981—), 男, 高级工程师, 从事港口水工结构设计和项目管理。

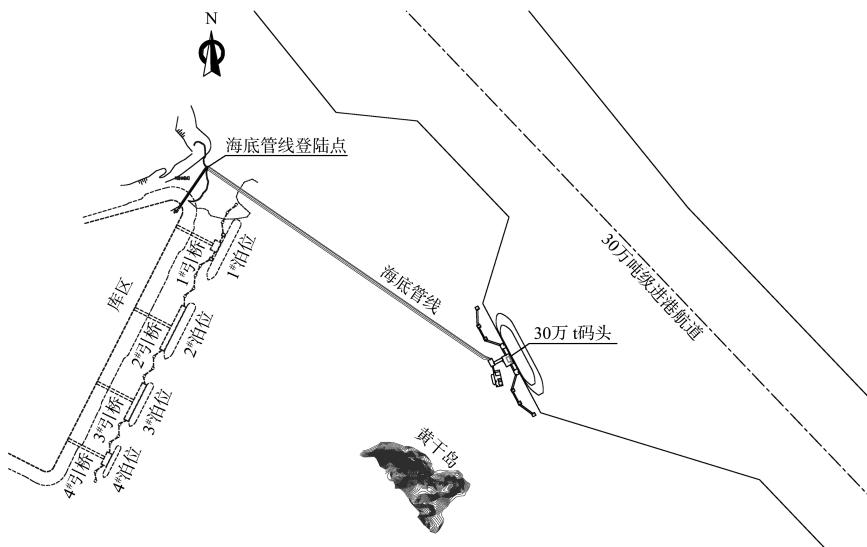


图1 中化泉州30万吨级岛式原油码头总体平面布置

2 自然条件

2.1 水文气象条件

风：工程区域常风向为NE，频率35%；强风向为NE向，实测最大风速24 m/s。

水位：湄洲湾海域属强潮海区，拟建工程海域的潮汐性质属于正规半日潮，潮差较大，平均潮差为4.63 m。港区工程设计水位为：设计高水位7.06 m，设计低水位0.68 m，极端高水位8.69 m，极端低水位-0.40 m。

潮流：潮流性质为正规半日潮流，形成原因以

潮流和风海流为主，码头处最大流速为1.8 m/s，流向为156°~336°。

波浪：码头ESE~SE向直接面向外海，又无岛屿掩护，受外海大浪影响较大。海域全年常浪向为ESE向，频率53.2%；其次为NE向，频率占27.5%。码头区附近海洋观测站多年波浪资料统计结果和湄洲湾地形条件分析表明，外海从ESE~SSE向传来的巨浪对30万吨级油码头威胁最大，是设计控制浪向。根据波浪数模分析报告^[3]，本项目设计波要素见表1。

表1 设计波浪要素成果

波浪	水位	$H_{1\%}/m$	$H_{4\%}/m$	$H_{5\%}/m$	$H_{13\%}/m$	\bar{H}/m	\bar{T}/s	L/m
50 a一遇波浪	极端高水位	7.3	6.2	6.0	5.0	3.1	10.6	158
	设计高水位	7.2	6.1	5.9	4.9	3.0	10.6	155
	设计低水位	6.2	5.3	5.1	4.3	2.6	10.6	149
	极端低水位	4.9	4.2	4.0	3.3	2.0	10.6	145
2 a一遇波浪	设计高水位	4.5	3.8	3.7	3.1	1.9	7.5	86

2.2 地形地貌及泥沙运动

湄洲湾中有湾，岛屿众多，岸滩侵蚀和堆积作用都较微弱，在自然状态下，岸滩、深槽动态稳定。同时由于湄洲湾是强潮海湾，每潮进出潮量达21亿m³，湄洲湾内外含沙量低且周边供沙条件不丰，加之海床底质偏粗，也不可能出现大冲大淤的局面。

2.3 地质条件

根据地质勘察成果，工程拟建区域强风化岩

面高程在-40~-25 m，上部覆盖层主要为淤泥、淤泥黏土、黏土和砂层。工程区域地质沿码头长度方向变化起伏很大，码头中间位置岩面与两端岩面高差达15 m；在部分局部小范围内，岩面起伏也较大，落差近7 m；在岩面较高的区域，上部基本无覆盖层；工程区域地质条件复杂。

3 设计要点及解决方案

本码头是国内首例30万吨级岛式码头，也是

福建省最大的专业化原油码头。由于工程区域水深、地理环境等制约，30 万吨级原油泊位无法采用栈桥式布置。如此超大吨级且位于开敞式外海的岛式码头建设可借鉴的成功经验较少，经过研究分析，本工程应有效解决如下几个关键技术问题：1) 30 万吨级油船与工作船允许作业条件协调问题；2) 地质变化大、波浪大、超大吨级开敞式外海码头水工结构设计问题；3) 海底管道与码头衔接问题；4) 消防取水安全保障问题。

3.1 30 万吨级油船与工作船允许作业条件协调问题

根据规范中船舶装卸作业允许波高的规定^[4]：15 万~30 万吨级油船作业允许波浪标准为顺浪 2 m、横浪 1.5 m。而工作船停泊允许波浪标准约为 0.6 m，两者作业标准差别很大。30 万吨级油码头前沿线方位角为 152°~332°，海域全年常、

强浪向为 ESE~SSE 向，考虑到本岛式码头区域受波浪影响很大，如果不采取有效的工程措施，很容易出现油船进行靠泊作业时人员无法安全上下码头。因此在满足油码头正常作业条件下，如何保证人员上下码头的安全，是本工程需要解决的重要关键问题。

根据岛式码头特点，除了常规的工作平台、系靠船墩，还须额外设置海底管线上码头的立管支撑平台和设置水电、消防等公用工程用房的辅助工作平台。因此，在充分考虑工作船的靠泊需求后，利用各建筑物，不单独新建工作船码头，将辅助工作平台长度适当增加后兼顾工作船泊位。将工作船码头设置在平台西侧，同时将辅助工作平台方位适当向西旋转，对 ESE~SSE 向波浪进行适当遮挡，消除部分波浪的影响。码头平面布置见图 2。

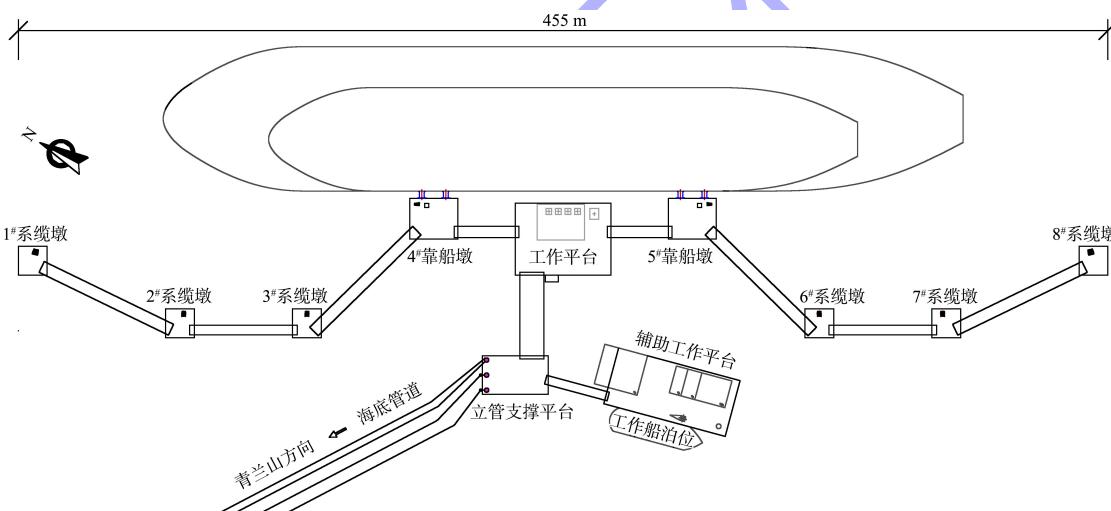
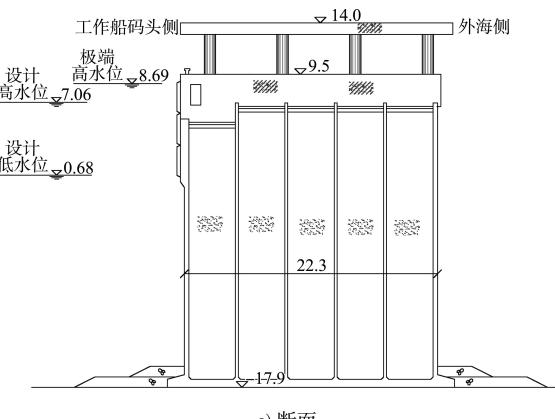


图 2 中化泉州 30 万吨级油码头平面布置

根据工程区的地质和水文波浪情况，各水工建筑物适合采用高桩墩台结构形式。考虑到高桩结构是透水性构筑物，外海波浪能量还是能穿过辅助平台影响到西侧工作船的靠泊安全，辅助平台采用大型重力式沉箱结构，胸墙顶高程设置在极端高水位以上的 9.5 m 处，有效地将外海波浪的影响降至最低，为工作船停靠创造了良好的泊稳条件，保障人员安全上下。同时考虑到本工程潮差大的特点，在工作码头侧设置双层带缆平台和多级人员上下平台，实际效果很好。辅助工作平台结构见图 3。



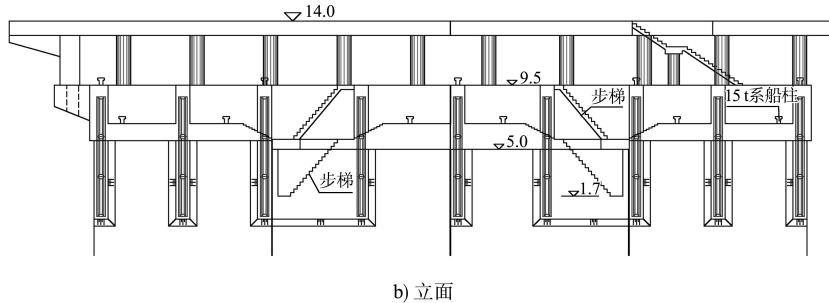


图3 辅助工作平台(兼工作船码头)结构(单位:m)

3.2 地质变化大、波浪大、超大吨级开敞式外海水工结构设计问题

本工程水工结构按靠泊45万t油船进行设计，这种大规模的码头在国内也仅有少数几个成功实施的案例。为确保结构安全可靠，码头结构安全等级按I级设计；采用国际通用的Optimoor软件进行计算，同时结合船舶系泊物理模型试验进行分析，确定船舶荷载、选择合理的系靠船附属设施。

码头结构除了要承受45万t油船的船舶荷载外，还应考虑工程区域处高达7.8m的设计波浪荷载，如何确保结构受力满足荷载要求是本工程的一大重点。外海墩式码头可采用重力墩和高桩墩式结构，经计算，高桩墩式结构和重力墩式结构所受波浪力见表2。根据计算分析，主要水工建筑物结构形式采用受波浪影响较小的高桩墩式结构方案。

表2 单个墩台SE向波浪力

结构方案	墩位	波浪水平力 标准值/MN	波浪浮托力 标准值/MN
高桩 墩式结构	工作平台	1.655	21.840
	靠船墩	3.166	28.470
	系缆墩	1.652	10.230
重力 墩式结构	工作平台	27.618	14.384
	靠船墩	47.491	19.626
	系缆墩	21.016	6.048

根据结构计算，最大的单桩嵌岩桩拉桩力设计值近10MN，同时考虑到嵌岩桩大部分是嵌入中风化岩，为确保结构的安全可靠，设置了静载试桩来验证设计桩基承载力。经过验证，结构设计安全可靠。

工程区域地质沿码头纵向变化起伏很大，码头中间位置岩面与两端岩面高程相差达15m；在部分局部小范围内，岩面起伏也较大，落差近7m；岩面较高的区域，上部基本无覆盖层；同时周边已建码头既有重力墩式码头、也有高桩墩式码头，这说明该区域码头结构选型存在不确定性。结合本工程周边的施工条件、工程投资及项目自身的实际情况，经过多方案比选，最终选择了适合本项目的大直径钢管桩斜桩嵌岩方案。即：在码头中间岩面较高区域选择 $\phi 1.8$ m的钢管桩斜桩嵌岩墩式结构，在两侧岩面埋藏较深的区域选择了 $\phi 1.5$ m的打入式钢管桩墩式结构，而在剩余区域，结合每根桩的实际入土深度和受力情况进行分析，部分采用打入桩和嵌岩桩组合的墩式结构。在岩面较高、覆盖层较薄的区域，在原海床面抛填一定厚度的人造地基层（稳桩袋装碎石）用于施工期的稳桩（图4）。

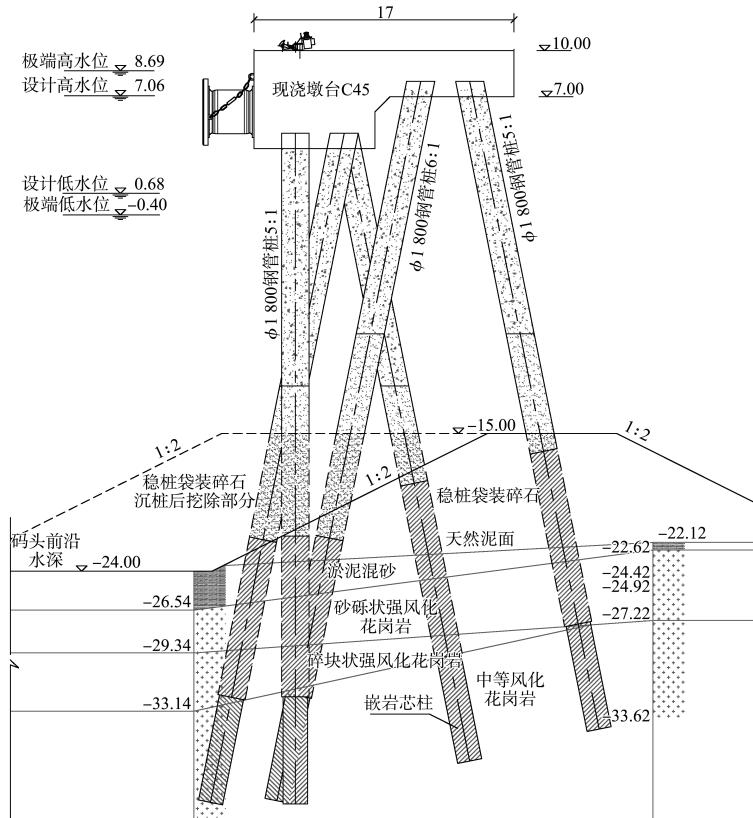


图 4 靠船墩(人造地基)断面(单位:m)

3.3 孤岛式码头特有的结构构造问题

3.3.1 海底管道与码头衔接问题

本工程通往库区的海底管线有 2 根 $\phi 914$ mm 的输油管线、1 根 $\phi 273$ mm 的电缆护管和 1 根 $\phi 114$ mm 的输水管线。立管支撑平台作为海底管线登陆点, 由于油管直径大、有一定埋深, 如采用重力式结构, 则油管须埋入基床并进行保护, 或在基床面布置但在小范围多次拐弯, 结构处理困难, 因此立管平台采用高桩墩台结构方案。根据海底管道荷载条件, 每根输油管线产生的最大水平力约 700 kN、垂向力约 100 kN, 同时用于固定管道下海段的管卡需焊接固定在支撑桩上。为降低管道荷载和焊接对支撑平台桩基的影响, 在钢管桩外设置钢套筒, 管卡焊接在桩基外侧的钢套筒上, 桩外壁与钢套筒内进行高压灌浆处理, 既保证了结构受力安全也避免焊接对结构主体桩基产生影响, 海底管道与立管平台布置见图 5。

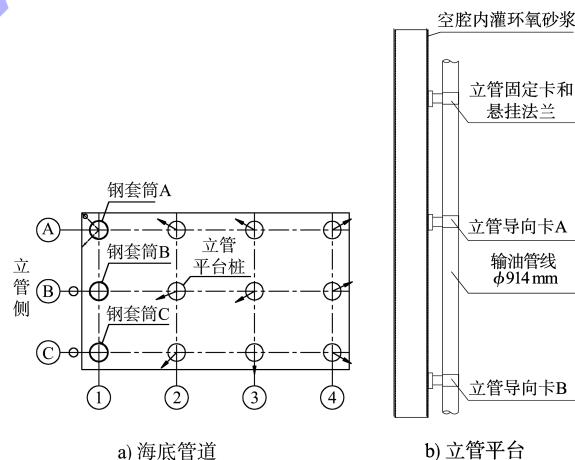


图 5 海底管道与立管平台布置

3.3.2 消防长轴泵取水安全保障问题

本项目所处位置为孤岛, 消防水无依托, 但可充分利用项目水深条件, 采用柴油泵取海水作为消防水源。本工程各水工建筑物适合采用高桩墩台结构, 如将消防泵房布置在高桩墩台结构物上, 考虑到工程区波浪较大, 柴油泵的取水管受波

浪冲击，不利于消防取水安全。因此，将消防泵房布置在采用大型重力式沉箱的辅助工作平台侧壁上，充分利用沉箱对波浪的掩护条件，能够有效减小波浪对取水管的冲击。此外，柴油泵设备尺寸较大，设备最外侧距离取水管还有约 4 m 距离，而取水管要求距离沉箱壁外侧 1.5 m，这就要

求泵房结构外侧距离沉箱外侧约 6 m 的距离，如此大的悬臂距离无法直接通过在沉箱侧壁设置胸墙悬挑。通过设置两层平台进行过渡，依次通过胸墙悬挑 2.8 m 和二层平台悬挑 3.2 m，解决了泵房结构悬臂过大问题，见图 6。

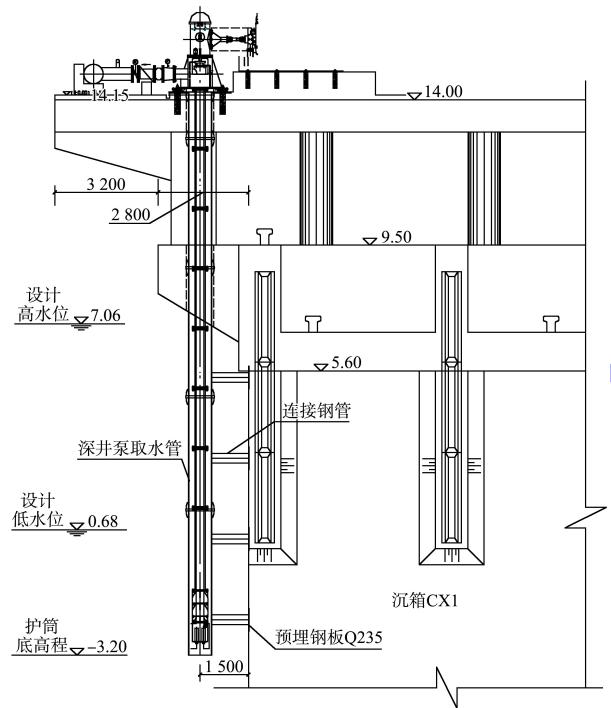


图 6 消防长轴泵固定结构 (高程: m; 尺寸: mm)

4 结语

1) 目前国内外孤岛式码头案例较少，外海孤岛式码头的依托条件与常规的接岸、近岸码头存在很大区别。因此设计中除解决正常的船舶靠离泊作业外，还需要针对性考虑外海孤岛式码头固有的特点。

2) 以中化泉州 30 万吨级岛式油码头为例，分析了以下几个关键技术问题：①通过调整码头平面布置和优化结构形式，有效解决 30 万吨级油船与工作船允许作业条件协调问题；②通过设置人造地基解决基岩埋深浅的桩基施工期稳桩问题；③针对波浪荷载大的情况，分析不同结构方案的波浪力，采取高桩墩台结构有效减小了波浪力，同时通过静载试桩验证桩基结构受力安全；④有针对性地调整结构构造，解决海底管道与码头衔接问题及消防取水安全保障问题。

3) 码头于 2016 年竣工验收，项目投产后按

原计划顺利达产，运行情况良好。实践证明设计措施得当有效，设计思路可供同行借鉴。

参考文献：

- [1] 何文钦, 李冠星, 杨克勤, 等. 中化泉州 30 万吨级油码头工程初步设计 [R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2013.
- [2] 何文钦, 李冠星, 杨克勤, 等. 中化泉州 30 万吨级油码头工程施工图设计 [R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2014.
- [3] 中交天津港湾工程研究院有限公司. 中化泉州石化项目 30 万吨级原油码头工程波浪数学模型试验研究报告 [R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2011.
- [4] 中交水运规划设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013 [S]. 北京: 人民交通出版社出版, 2013.