



中委广东石化项目 原油码头工程平面设计创新

查恩尧, 王汝凯, 韩国军, 谢锐才, 黎维祥, 朱云海
(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 通过具体工程实例, 结合码头营运标准、自然条件(特别是波浪条件)以及物理模型试验等, 论述了30万吨级原油码头采用岛式防波堤掩护式布置、岛式防波堤平面布局、高程确定等方面的设计创新内容, 为波浪条件恶劣的深水开敞海域建设有掩护式大型码头提供了切实、可操作的工程设计经验。

关键词: 30万吨级原油码头; 平面设计; 创新; 掩护; 岛式防波堤

中图分类号: U 652.7²

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)02-0072-06

Innovation in general-layout design for crude oil port of PetroChina/PDVSA Joint Venture Guangdong Petrochemical 20 MMTPA Refinery Project

ZHA En-yao, WANG Ru-kai, HAN Guo-jun, XIE Rui-cai, LI Wei-xiang, ZHU Yun-hai
(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Based on a specific example of project, this paper discusses the innovations on island-type breakwater arrangement for shielding a 300 000 DWT crude oil berth, island-type breakwater layout and elevation combining with the terminal operation standards, the natural conditions (especially the wave conditions) and the physical model testing methods during the design, and provides a practical and actionable engineering experience on large shield terminal layout design at an open and deep sea area with unfavorable wave conditions.

Key words: 300 000 DWT oil terminal; arrangement design; innovation; shield; island-type breakwater

中委广东石化项目是中国石油与委内瑞拉国家石油公司合资建设的大型重质原油加工项目, 该项目选址位于广东省揭阳市惠来县西南沿海。为其配套的30万吨级原油接卸泊位拟建设于揭阳东部石碑山海域, 与炼厂海上直线距离约为25 km。其建设规模为: 建设30万吨级原油泊位1个(结构按照40万t预留), 年任务量需求为2 000万t^[1-2]。

1 工程海域自然条件特点

总体来讲, 惠来沿海影响作业的自然条件的基本特点是: 风多但不大、浪大并且多, 雨、雾、雷暴等对作业影响不大。相比之下, 风、

雨、雾、雷暴等自然条件无法通过修建人工设施进行掩护或削减, 但波浪可通过防波堤掩护而大幅度减小。

经研究分析, 确定本项目风对作业天数影响天数约为13 d^[1]。

波浪数据分别依据沟疏测波站^[3](距本项目原油码头约13 km)及本项目石碑山测风站资料^[4], 统计得到超出原油卸船作业标准($H_{4\%} > 1.5$ m的横浪以及 $H_{4\%} > 2.0$ m的顺浪)的波浪年合计出现的天数分别为209 d及212 d。故按照此观测数据, 若采用开敞式布置, 本项目30万吨级原油码头年可作业天数将不足160 d。两波浪观测站波玫瑰见图1。

收稿日期: 2013-11-12

作者简介: 查恩尧(1981—), 男, 硕士, 工程师, 现从事港口工程设计工作。

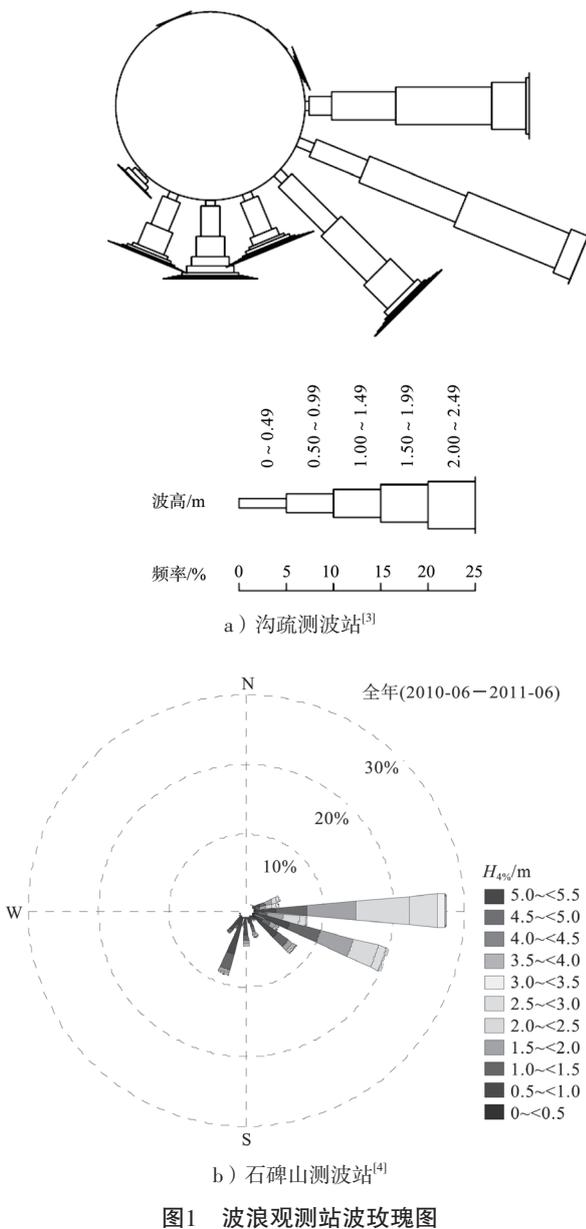


图1 波浪观测站波玫瑰图

2 原油码头平面设计需考虑的关键因素

- 1) 须保证足够作业天数,完成2 000万t/a的接卸任务量需求。
- 2) 尽量缩短连续不可作业天数,保证炼厂正常营运。
- 3) 合理考虑施工影响、合理预留发展空间。
- 4) 尽量节约工程建设成本及营运成本。

3 原油码头平面设计创新的总体思路

以需求为导向,在汲取已有工程经验的基础上打破常规,在对基础资料进行深入分析研究的前提下,以波浪整体物理模型试验为主要验证手

段进行多方案、全面深入的对比、优化,最终确定平面设计方案。

4 原油码头平面设计创新

4.1 码头前沿线位置的选择

传统原油码头前沿线位置的选择一般考虑水深、波浪、潮流、泥沙、工程地质等多方面因素。

本项目原油码头选址于石碑山海域,水体泥沙含量很低,且由于海域开敞,波浪条件差别不大。因此码头前沿线位置的选择主要考虑水深、潮流及工程地质的影响,除此之外仍需考虑重油加工工程的未来发展需求,预留建设第2个原油泊位的可能。

最终,30万吨级原油码头前沿线选择于-20 m水深附近,极大地降低了水域疏浚量,尤其是炸礁量;码头前沿线方位与流向平行,为 $055^{\circ}\sim 235^{\circ}$ 。

4.2 码头平面布置形式

4.2.1 码头若采用开敞式布置将存在的问题

1) 作业天数偏少,开敞式布置单个泊位通过能力无法满足项目原油年运量需求。

若采用开敞式布置,单个原油泊位年通过能力将小于1 500万t,无法满足项目2 000万t/a的任务量需求。解决此问题的途径有两条:一是开敞式修建2个30万吨级原油泊位;二是建设防波堤,对波浪进行掩护提高泊位作业天数从而提高泊位通过能力。

2) 恶劣天气集中期,开敞状态下营运期连续不可作业天数过长,船舶营运费用过高且对原油罐区库容要求过大。

若原油码头采用开敞式布置,恶劣天气尤其是大浪天气对其日常营运影响巨大,会直接导致船舶滞船及原油储备库容大幅度增加。

开敞式布置情况下波浪对原油运输影响分析结果如下:

不可作业天数: 166 d;

连续不可作业天数大于30 d次数: 3次,分别为36, 35, 32 d;

单个泊位可提供作业天数: 189 d;

运量：2 000万t；
 每年进港艘次：74艘次；
 船舶正常航行时间（单向）：32.9 d；
 单船年完成运量：86万t；
 至少配备船舶数量：24艘；
 每艘次卸船港所需时间：48 h；
 需建30万吨级泊位个数：2个；
 受波浪影响需待港的航次：23航次；
 受波浪影响总待港时间：62艘天；
 受波浪影响航次平均待港时间：2.7 d/艘；
 受波浪影响增加的船舶费用：0.53亿元/a；
 受波浪影响营运过程中需逃跑的天数：132 d，
 出现超过逃跑波高的天数。

考虑日发生4次1.5 m以上横浪或2.0 m以上顺浪才计算为不可作业日历天。本项目30万吨级原油码头采用开放式布置从营运风险控制、营运成本控制等角度讲是不可行的。

4.2.2 应对措施

为此，本项目30万吨级原油码头平面布置考虑突破常规，采用有掩护式布置，以期保证泊位作业天数、尽量降低营运风险、节约营运成本。经防波堤掩护后，可达到如下效果：

1) 原油码头年作业天数可达305 d，单个30万吨级原油泊位即可满足2 000万t/a的原油运量需求。

2) 年可作业天数分布均匀，最长连续不可作业天数仅发生在台风期，约为5 d；仅需配置约15艘30万吨级油船即可满足任务量需求，且经合理调配基本不会发生船舶延误、滞船等情况，因此船舶购置费、营运费将大幅降低。

3) 由于连续不可作业天数很短，原油罐区为此考虑的储备性库容将很小。

4) 原油船舶出现受波浪影响需离泊逃跑的状况将很少发生。

4.3 防波堤平面布置

4.3.1 防波堤形式选择

原油码头所在位置直接面对外海，采用有掩护式布置时，防波堤的布置形式直接由码头海域波浪情况决定。由工程所在地波玫瑰图可见，本项目原油码头所处海域波浪主要集中在东向至南

向约90°的范围内，若对其进行掩护，需修建掩护东向到南向波浪的防波堤。

石碑山海域水深条件优越，30万吨级原油泊位布置于天然水深-20 m处。为达到预期掩护效果，防波堤需位于-22 m水深附近建设。

相比之下，接岸式防波堤由于需要掩护的水域距岸较远，防波堤长度较长，需约2 500 m，其掩护效果较好，可基本掩护住北向至东向至南向约180°范围内波浪，码头年作业天数约为300~310 d，但该方案防波堤投资较高。为节约投资，防波堤考虑采用岛式防波堤方案。

岛式防波堤方案考虑基本掩护工程海域东向至南向波浪，长度可缩短至约1 000 m。经测算，经岛式防波堤掩护后，原油码头年作业天数可达约305 d，与接岸式防波堤方案效果相当，但由于长度缩短较多，投资显著降低，仅约相当于接岸防波堤的50%^[1]。

4.3.2 岛式防波堤平面布置及高程方案的确定

岛式防波堤的掩护效果主要由其平面走向、轴线位置、长度及堤顶高程决定，针对这4方面因素，总平面设计过程中创新性地结合实测波浪资料，考虑施工工艺，以30万吨级油轮作业标准为依据通过波浪整体物理模型试验等手段对原油码头岛式防波堤的平面布置及高程确定进行了详细深入的研究。

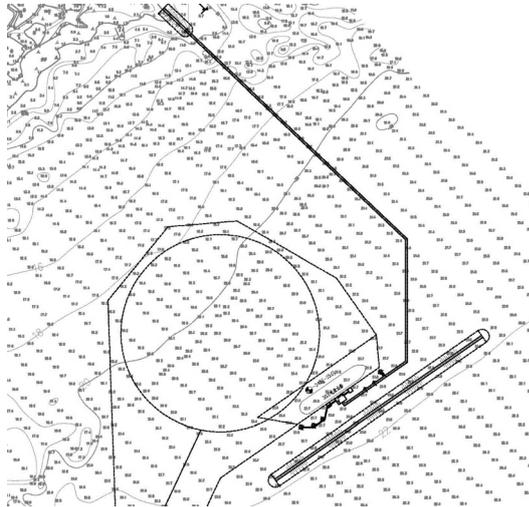
1) 岛式防波堤平面布置及高程方案确定的思路。

岛式防波堤平面布局以主要掩护东向至南向浪为主；岛式防波堤轴线布置尽量顺流，避免挑流引起码头前沿流场混乱、影响船舶泊稳；岛式防波堤尽量布置于地质条件较好，软弱土层较少或较薄的海域，避免发生过大的地基处理费用；岛式防波堤允许越浪，且其尺度须经试验优化验证，有效掩护东向至南向波浪，保证原油码头年作业天数；岛式防波堤堤顶高程的确定需考虑防波堤施工方案，结合试验手段优化验证。

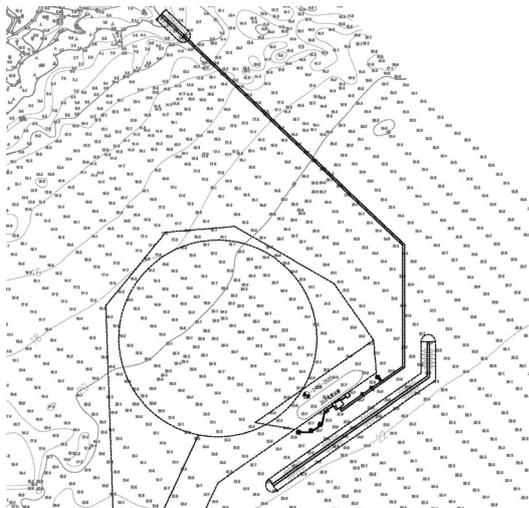
2) 岛式防波堤平面形态及轴线位置的确定。

①直线形与折线形岛式防波堤的对比。

为尽量减小对原油码头海域潮流流态的影响, 在保证岛式防波堤主体轴线顺流的情况下, 防波堤的平面形态可采用直线形或折线形(图2)。



a) 直线形



b) 折线形

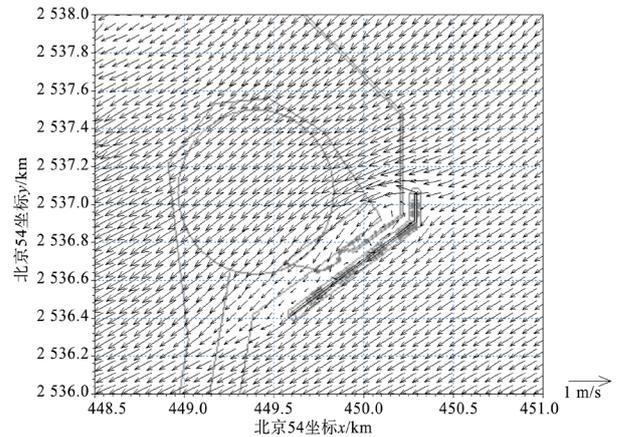
图2 岛式防波堤

直线形防波堤轴线与海域主流向及码头前沿方位相同, 对潮流干扰很小, 并且可较好地掩护东向至南向波浪。但该方案在保证对东向浪掩护效果相同的前提下长度较长, 若优化成折线布置, 可进一步减少防波堤长度, 减少工程投资。

折线形防波堤在保持与直线形防波堤取得相同的掩护效果情况下, 防波堤长度有所减少, 投资降低, 但北段防波堤出现拐折, 对潮流流场产生一定影响; 但根据本项目潮流泥沙数学模型试

验研究结论(图3)^[5], 拐折段虽有一定挑流, 但对码头前沿停泊水域及回旋水域影响不大, 不对船舶泊稳及作业造成实质影响。

因此, 经研究比较, 本项目原油码头岛式防

图3 大潮西向流情况下原油码头海域流态^[5]

波堤采用折线形布置。

②岛式防波堤轴线位置的确定^[2]。

折线形岛式防波堤轴线位置的确定综合考虑了掩护效果、码头及防波堤施工以及防波堤越浪堤后波浪冲击对泊稳条件的等影响等因素(图4)。

30万吨级原油码头布置于折线式岛式防波堤南段内侧, 根据结构计算, 为保持防波堤稳定, 其底面宽度为136 m, 而码头结构(引桥墩及系缆墩)采用桩基结构, 且为3:1斜桩。

考虑到防波堤与码头采用分离式布置, 为保证良好的掩护效果, 防波堤与码头结构间距以近为宜。

但是, 由于施工工序上为给码头桩基结构创造良好的施工条件, 防波堤先于码头结构施工。为保证码头结构桩基施打时不与已施工好的防波堤护底结构发生交叉干扰, 且保证打桩船有足够的空间进行打桩作业, 防波堤与码头结构间需留有足够的施工间距。

同时, 由于整条岛式防波堤为允许越浪设计, 波浪越过防波堤堤顶后在其内侧会产生波浪冲击, 若冲击范围较大将会对原油泊位泊稳条件产生重大影响。为此, 设计过程中专门通过波浪整体物理模型试验验证了波浪越过防波堤后的冲

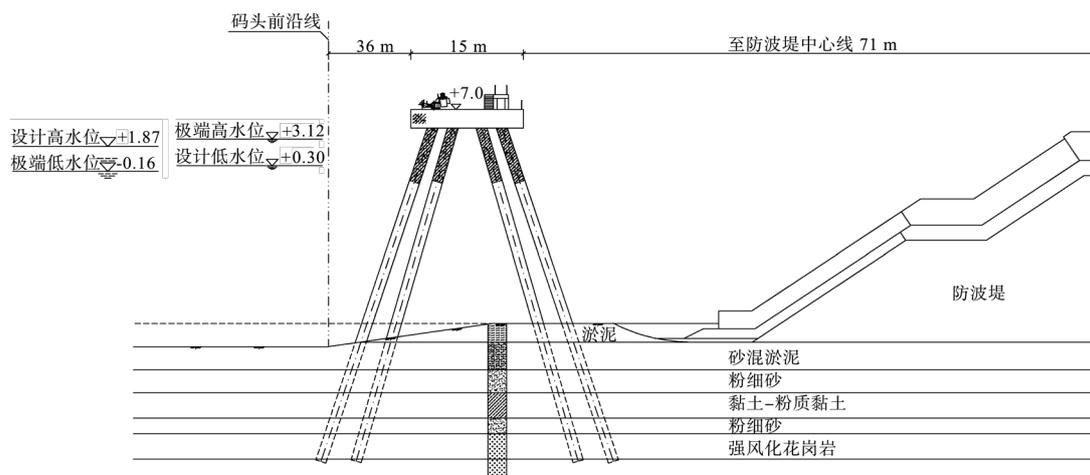


图4 南段防波堤与码头结构(系缆墩)位置关系

击范围。试验结果^[6]表明:波浪越过防波堤后形成的冲击主要集中在堤内侧约0.5倍波长,即70~80 m的范围之内,超出此范围的波态恢复正常。为此防波堤轴线与码头结构间距离的确定应考虑此距离影响。

综合考虑上述各方面因素,最终确定码头前沿线距离南段防波堤中心线的距离为122 m。

3) 岛式防波堤平面尺度及高程的确定。

平面尺度及高程是关系岛式防波堤掩护效果的最直接因素,故其确定应以需达到的掩护效果(即作业天数)为出发点。

为使原油泊位泊稳条件符合规范规定^[7](顺浪 $H_{4\%} \leq 2.0$ m,横浪 $H_{4\%} \leq 1.5$ m,周期 $T \leq 8$ s),岛式防波堤设计过程中开创性地采用反推式方式结合波浪整体物理模型试验对岛堤的平面尺度及高程进行逐步优化确定。

①设定初始岛堤平面尺度:折线段南段长800 m,北段长150 m,总长950 m。

②考虑防波堤水上抛填堤心石及护面块体安放施工,初定防波堤堤顶高程为4.0 m。

③通过波浪整体物理模型试验,以试打某方向入射波的方式,给出满足原油泊位泊稳条件下的堤外该方向入射波高 H'_λ 。

④按照上述方法,对各个方向上的波浪进行试打,逐一确定所有方向的不同允许入射波高 H_λ 。

⑤比对原始波浪观测资料,得出观测到的各

个方向上的波浪大于 H_λ 情况下出现的天数 $D_{\text{波}}$ 。

⑥结合 $D_{\text{波}}$ 以及影响码头作业天数的风、雨、雾、雷暴等其他因素综合给出码头年可能作业天数 D 。

⑦参考国内其他30万吨级原油码头工程,在满足2 000万t/a任务量需求的情况下,码头年均作业天数一般不宜小于300 d,以此设定 D 的低限值为 $D_{\text{min}}=300$ d。

⑧不断优化岛堤南段、北段长度、堤顶高程,重复上述③~⑥步骤,直至最终满足码头年可能作业天数 $D > 300$ d。

经多次优化调整,最终确定原油码头岛式防波堤长度为920.4 m(其中南段长743.9 m,北段长113.0 m,南北两段通过圆弧段过渡衔接,圆弧段长63.5 m),堤顶高程为4.0 m^[2-6]。

5 结语

1) 本文结合中委广东石化项目30万吨级原油码头使用需求及建港条件特点,特别是波浪条件特点,整理了粤东开敞海域进行大型码头设计需考虑的关键因素,并由此给出了平面设计创新的思路。

2) 通过深入分析开敞式布置情况下波浪对原油运输影响,同时考虑工程投资等因素,给出了工程海域须采用岛式防波堤掩护式方式建设30万吨级原油码头的结论,为类似工程提供了可供参考的经验。

3) 从利于施工的角度出发,确定岛式防波堤

