



大涌浪海域沉箱结构选型方案

赵娟, 应宗权, 林美鸿

(中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 随着运输船舶大型化趋势的迅猛发展, 与之相适应的大型深水码头逐步向着自然条件更加恶劣的深水区域发展, 大涌浪海域的长周期波浪给码头设计施工带来极大的困难。通过某原油码头转换平台的沉箱结构方案选型可见, 除进行常规的吃水、压载和浮游稳性验算外, 尚应对波浪环境下沉箱的运动响应进行分析。离岸深水海域码头工程的设计施工必须考虑波浪荷载的影响。

关键词: 涌浪; 沉箱; 浮游稳性; 波浪响应

中图分类号: U 65

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)01-0196-04

Selection of caisson structure scheme under swell condition

ZHAO Juan, YING Zong-quan, LIN Mei-hong

(CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: Along with the rapid development trend of large-scale ships, port facility towards deep-water is under development, while long-period waves of large swell field will bring great difficulties for the design and construction. Analyzing and comparing the structure schemes for the terminal platform caisson of crude oil terminal, this paper points out that the hydrodynamic response of wave action is necessary in addition to the conventional draft, ballast and floating stability checking.

Keywords: swell; caisson; floating stability; response of wave action

1 大涌浪海域的水工结构设计施工

随着运输船舶大型化趋势的迅猛发展, 与之相适应的大型深水码头、特别是大型专业化码头大量兴建, 码头建设逐步向着自然条件更加恶劣的深水区域发展。离岸深水港多处于外海无掩护水域, 须依托天然岛礁或者人工岛建造, 自然条件恶劣, 灾害频繁, 可施工期短, 传统的港口规划、设计、施工技术面临挑战^[1]。

外海海域有着不同的波浪特征, 面对的往往是风浪与涌浪的混合, 后者表现出波高小、周期长、波速大的特点, 在水平方向上水的流动性很大, 具有相当大的能量^[2]。由于低频长周期波会导致船舶的剧烈运动, 故水工结构设计时须考虑

其对码头系泊及装卸作业的危害, 施工过程中则应注意对作业船的施工安全和工作效率的影响, 譬如在印度洋和西非一些工程海域的强波浪长周期环境会致使常规大型施工船机设备无法进行水上施工^[3-6]。可见, 在外海深水港设计施工中, 水工建筑物和大型船舶与水动力相互作用的问题十分突出。

以大型沉箱结构的海上浮运施工为例, 在内河或掩护条件较好的海域, 波浪影响相对较小, 波浪的作用可作一些简单的考虑即可, 但在复杂的海洋环境下实施时除要核算沉箱浮游稳定性外^[7], 尚须对波浪作用下沉箱的动力响应开展相应的研究。笔者结合某近海原油码头沉箱结构方

收稿日期: 2014-04-18

作者简介: 赵娟 (1982—), 女, 硕士, 工程师, 从事结构检测评估及水动力计算分析。

案选型工作,研究两种不同方案沉箱结构在涌浪作用下的浮运施工稳定性及可行性,以达到优化设计方案、提高技术经济性能的目的,并为相关工程环境下的设计施工提供参考。从分析结果来看,开敞海域条件下的波浪作用已经成为设计施工中必须关注的要点。

2 工程概况

2.1 水文条件

本工程位于北回归线以南,属亚热带季风气候。工程海域涌浪条件非常恶劣,具有季风盛吹、涌浪大于风浪等突出特点,是典型的外海无掩护环境下的复合式码头结构工程。其水文条件如下:

1) 水位:码头泥面高程 -21.69 m ,设计高水位 1.87 m (以当地理论最低潮面起算,下同);设计低水位 0.30 m ;极端高水位 3.12 m ;极端低水位 -0.16 m 。

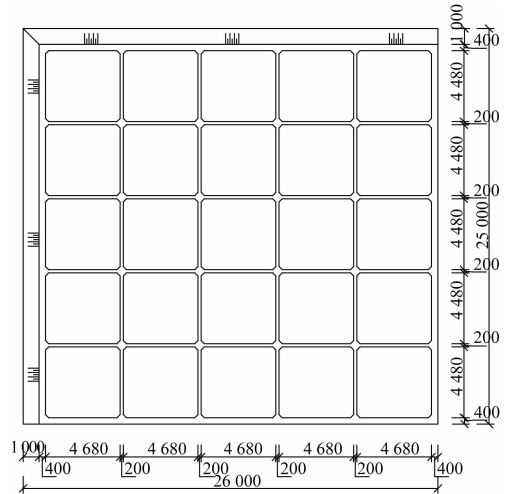
2) 波浪:海区主要受西南季风、热带气旋、东北季风3种气候系统所影响,全年观测资料中 $H_{1/3}$ 大于 1.5 m 的出现天数为 182 d ,热带气旋和东北季风影响强烈的月份均有 $8.1\sim 9.0\text{ s}$ 的较长周期波出现。设计波浪要素为,极端高水位情况下,重现期为 50 a 的波浪SE向, $H_{1\%}=7.8\text{ m}$, $T=11.1\text{ s}$;模型试验实测结果为SE向 $H_{1\%}=7.0\text{ m}$, $T=11.3\text{ s}$ 。

3) 水流流速:海区潮流类型为正规半日潮流,潮流运动以往复流为主,主要为NE-SW流,大潮观测期间最大流速为 101.6 cm/s ,其次为 94.3 cm/s ;小潮观测期间最大流速为 77.1 cm/s ,其次为 75.6 cm/s 。

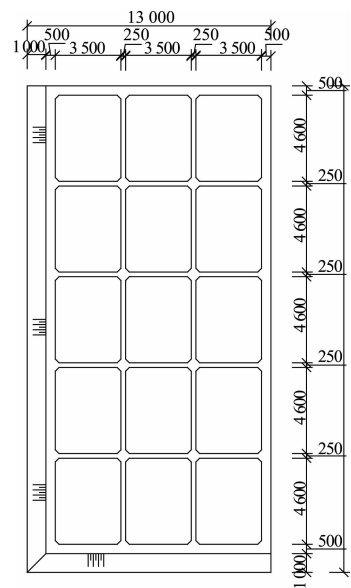
2.2 设计方案

预留转换平台长 25 m 、宽 24 m ,拟采用重力式沉箱结构,现有单沉箱和双沉箱两种施工方案(图1),双沉箱在浮运安装后通过现浇剪力键的方式连成整体。单沉箱方案结构尺度大,安装件数相对较少,在施工条件恶劣的无掩护海域优势较为明显;但单沉箱在浮运安装过程中需要配备

大型的船机设备,预制构件安装费用相对较高。因此,有必要就单沉箱和双沉箱两种设计方案进行比对分析,以选取施工安全、成本合理的技术方案。



a) 单沉箱方案



b) 双沉箱方案

图1 两种沉箱方案平面图

3 两种设计方案沉箱浮运施工比选

3.1 沉箱静水稳性及压载分析

单沉箱高 26.8 m ,质量 $6\,241\text{ t}$,重心高度 11.235 m 。计算可知,单沉箱靠自身浮游稳定时,其定倾高度不能满足规范要求。因此,在沉箱浮运过程中,需考虑用砂石或海水压舱,压载后沉箱定倾高度和吃水见图2。

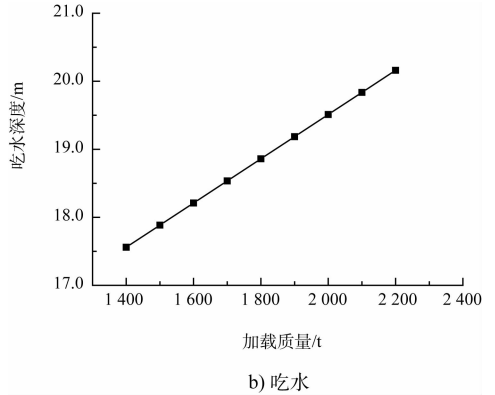
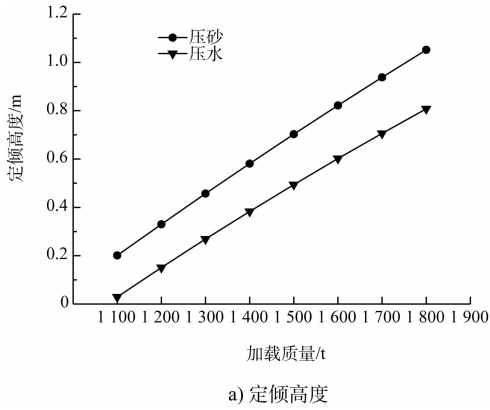


图3 单沉箱静水稳性计算

沉箱砂压载时压载质量至少为 1 400 t，水压载时压载质量至少为 1 600 t。沉箱运输若采用半潜驳或浮船坞浮运时，单沉箱所配备船舶的运载力需要达到 7 500 吨级及以上，双沉箱配备船舶则要达到 5 500 吨级及以上。

3.2 波浪作用下沉箱稳定性分析

在外海大涌浪海域，将会有明显的长周期波浪，大型预制构件的固有周期很有可能落入波浪周期范围之内，此时构件将要发生比静态响应严重的动态响应。波浪将是影响大型预制构件浮游稳定和沉放安装施工的重要因素之一。

为此，基于线性势流波浪理论，对单位幅值波高（波高 1.0 m）的波浪作用下两种沉箱方案的运动响应进行计算，以初步确定沉箱运动的自振周期，为沉箱设计施工方案比选提供依据。本文利用水动力分析软件计算沉箱的横摇运动响应的幅值响应算子（RAO）。

对于单沉箱方案，考虑沉箱压载 1 200 t（干舷 14.76 m），对单位波高不同周期波浪荷载作用下的横摇角进行计算。从 0°~90°共定义了 7 个波浪作用方向：Dirn1 = 0°、Dirn2 = 15°、Dirn3 = 30°、Dirn4 = 45°、Dirn5 = 60°、Dirn6 = 75°和 Dirn7 = 90°进行计算，计算结果见图 4。同样，对于双沉箱方案，考虑沉箱压载 1 400 t（干舷 8.24 m）情况下，对单位波高不同周期波浪荷载作用下的横摇角进行计算，结果见图 5（以短边为 X 轴）。

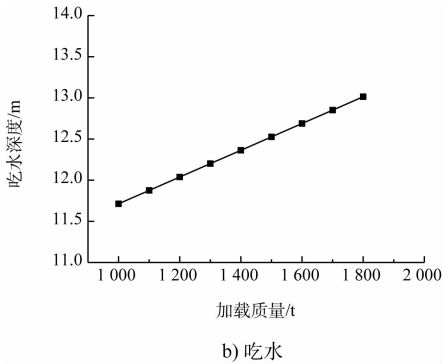
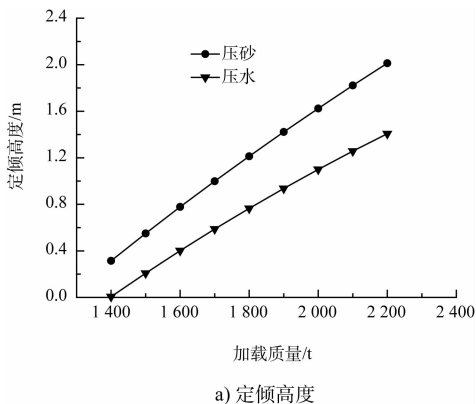


图2 单沉箱静水稳性计算

双沉箱方案中，沉箱高 25.8 m，质量 4 028 t，重心高度 11.449 m。压载后沉箱的定倾高度和吃水见图 3。

由上述计算结果可以看出，随着舱室压载质量的增加，沉箱定倾高度增大、稳性增强。考虑到施工区域受外界海况影响较大，参照规范要求，以砂压载时沉箱定倾高度不小于 0.3 m，以海水压载时沉箱定倾高度不小于 0.4 m。因此，单沉箱砂压载时压载质量至少为 1 200 t，水压载时压载质量至少为 1 450 t，方可满足沉箱稳性要求；而双



a) 定倾高度

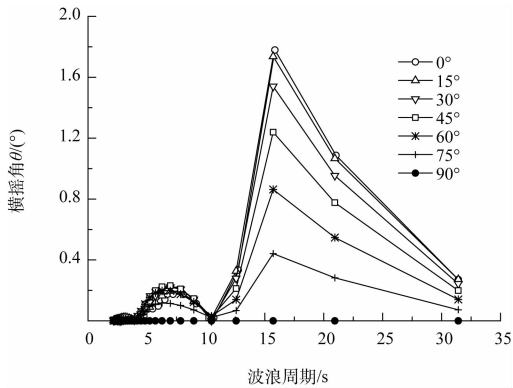


图4 单沉箱波浪荷载作用下的横摇角

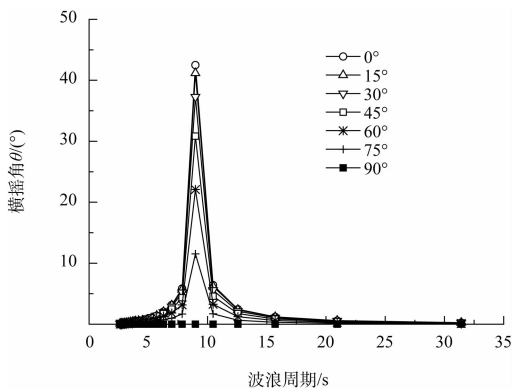


图5 双沉箱波浪荷载作用下的横摇角

从图4和图5可以看出:1)采用两种方案沉箱时,在 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 的波浪作用区间内,沉箱在单位波高规则波作用下的横摇角均呈现逐渐减小的趋势;2)单沉箱方案的沉箱自振周期为15.7 s,双沉箱方案的自振周期为9.0 s,在波浪遭遇周期接近沉箱自振周期时沉箱横摇角幅值将迅速增大;3)波浪 0° 作用时,单沉箱方案的最大横摇角约为 1.8° ,双沉箱方案的最大横摇角约为 42.5° ,波浪 45° 作用时,单、双沉箱方案的最大横摇角分别为 1.2° 和 30.8° 。

由前期施工区域的波浪观测资料可知,在热带气旋和东北季风影响强烈的月份均有较长周期波出现,特别是9 s左右的波浪在该海域较为常见。因此,若采用双沉箱设计施工方案,在沉箱浮运安装施工时应特别注意波浪的预报和监测,施工应选择在波高不超过1.0 m,波浪周期小于7 s的时段进行施工。

4 结论

1)两种方案的沉箱均需通过压载方能满足静水稳性要求。运输船舶配备方面,单沉箱需采用运载力在7 500吨级及以上的半潜驳或浮船坞,双沉箱则需要达到5 500吨级及以上。

2)在波浪 0° 作用时,波高1.0 m情况下单沉箱方案的最大横摇角约为 1.8° ,双沉箱方案则高达 42.5° ,且双沉箱的自振周期在9 s左右,而此类周期范围的波浪在该海域较为常见。

3)综合分析两种结构形式的设计施工特点,尽管单沉箱方案需要配备大功率的船机设备,但是考虑到工程施工过程中的可作业时间、施工期作业船的施工安全和工作效率等因素,推荐选用单沉箱方案。

4)大涌浪海域条件下,波浪周期及波高的影响在大型预制构件的施工中必须给予考虑。因此,对于离岸深水码头施工,除验算规范要求的沉箱吃水、压载和浮游等静水稳定验算之外,尚应对波浪影响进行相关计算分析。

参考文献:

- [1] 孙子宇,谢世楞,田俊峰,等. 离岸深水港建设关键技术[J]. 中国港湾建设,2010(10):1-11.
- [2] 杨宪章. 长周期波的特性及对系泊船舶动态特性的影响[J]. 港口工程,1989(6):37-43.
- [3] 赵冲久. 浅议 offshore 深水码头建设的水动力问题[J]. 水道港口,2007(8):236-239.
- [4] 徐明飞,何文元. 台湾海峡 offshore 港口项目的建设要点[J]. 水运工程,2012(1):45-48.
- [5] 周加杰,罗春艳,钟少杰,等. 离岸深水港建设关键技术[J]. 中国港湾建设,2010(10):21-24.
- [6] 朱成. 印尼巴齐丹码头防波堤施工[J]. 科技资讯,2010(11):111-112.
- [7] JTS 167-2—2009 重力式码头设计与施工规范[S].