

# 软土地基筒基试采平台的适用性分析

邵文静

(中国石油大港油田滩海开发公司, 天津 300280)

**摘要:** 大港滩海油田控制储量升级评价, 需要一种适用于软土地基, 具备一定的储存功能, 满足试采、注水、油气处理、靠船等需要的可移动试采平台。本文对已建的筒型基础围埝人工岛、防波堤及栈桥工程进行了总结分析; 从筒型基础结构的地质适应能力、安全稳定性、施工技术、功能需求及建设投资等五个方面进行了分析论证, 认为筒型基础试采平台适用于大港滩海软土地基, 结构安全稳定, 容易实现移动可重复利用, 满足可移动试采平台的功能需求。同时还对筒基试采平台的负压下沉、正压起升、干拖、湿拖做了详细介绍。

**关键词:** 筒型基础; 试采平台; 软土地基

**中图分类号:** TU476

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2015)02-0240-05

## Applicability analysis of soft soil foundation tube based test platform

SHAO Wenjing

(Petrochina Dagang Oilfield Offshore Development Company, Tianjin 300280, China)

**Abstract:** Control reserves upgrading evaluation of Dagang Offshore Oilfield need a suitable soft clay foundation, that can have certain storage function and meet the production, water injection, oil and gas processing, by boat to mobile production platform. This paper summarized an analysis on the bucket foundation cofferdam artificial islands, breakwater and the bridge project from the geological cylindrical foundation structure adapted to the five abilities; stability, construction technology, functional requirements and construction investment which are analyzed and demonstrated. The results show that the bucket foundation testing platform is suitable for soft soil foundation structure of Dagang Oilfield, safe and stable, easy to implement and meet the functional requirements of mobile production platform. At the same time, the pressure on the cylinder test platform base sinking, positive pressure lift, drag, dry wet mop are introduced in detail.

**Key words:** bucket foundation; test platform; soft soil foundation

大港滩海油田控制储量升级评价, 利用试采平台对评价井进行试采, 获取必须的开发参数, 准确分析油藏产能和生产规律, 为开发方案的编制提供可靠依据。试采平台需要配套相应的油气采集、油气处理、储存、集输、放空燃烧等工艺系统和相应的工程配套设施<sup>[1-4]</sup>。可移动试采平台试采周期可根据实际需要确定, 可以避开恶劣天气进行原油拉运, 可实现连续生产。

目前, 大港滩海没有适用的可移动试采平台, 需探索一种适用于软土地基, 具备一定的储存功能, 满足试采、注水、油气处理, 靠船等需要的可移动试采平台。筒型基础结构是一种适用于软土地基的新型港口与海岸工程结构型式, 具有运输和安装方便、施工速度快、可重复使用等优点, 尤其适合于边际油气田的开发<sup>[5-8]</sup>。本文提出了将筒型基础结构应用于试采平台的想法, 探讨了其可行性。

## 1 已建箱筒型基础结构工程分析

### 1.1 箱筒型基础结构概述

箱筒型基础结构是一种不需要进行软基处理的基础结构, 可利用周边软土的粘聚力和摩擦阻力来保证结构的抗滑和抗倾稳定性, 利用插入埋深来提高基底的承载力和整体稳定性, 可预制且可重复利用, 广泛应用于港口和海岸工程, 以及滩海人工岛油气田开发。依靠沉入地基中的筒型基础维持整体结构的稳定性, 可重复利用、缩短施工时间、节省投资, 具有广泛的应用前景。每组箱筒型基础结构由四个下面无底上面有顶板、且在顶板上设有可开关通孔的圆柱筒呈矩形排列, 相邻圆筒体间用竖向连接板连接而成。箱筒型基础结构平面图如图 1 所示。

箱筒型基础结构应用于软土地基, 设计时主要考虑结构的地基承载力和稳定性演算。对于箱筒型基础结构的基底地基极限竖向承载力, 可用

收稿日期: 2014-02-06 修改稿日期: 2015-02-28

基金项目: 中国石油股份公司岐口专项资助项目 (2008E-0608)

作者简介: 邵文静(1984-), 女, 工程师, 主要研究方向: 滩海海工新技术。E-mail:shaowenjing@petrochina.com.cn

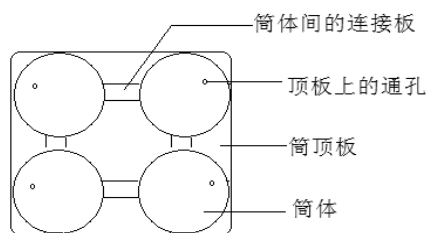


图1 箱筒型基础结构

Fig.1 Box type cylinder infrastructure

《港口工程地基规范》中关于刚性埋深基础的极限竖向承载力计算方法进行计算,并确定地基的允许承载力;箱筒型基础结构的基底应力按直线分布考虑,基底应力的值按重力式码头的基底应力计算方法进行计算,具体参照《重力式码头设计与施工规范》;结构的抗滑稳定性计算结合《防波堤设计与施工规范》和《重力式码头设计与施工规范》中的相关要求进行;对于结构的圆弧滑动稳定性验算,利用《港口工程地基规范》中的简单条分法进行计算。

箱筒型基础结构件可以用钢板制作,也可用钢筋混凝土浇注。箱筒型基础结构件在陆地预制好后被移于水中,向倒扣放置的筒体中充气,将筒型基础结构件气浮漂运到安装现场,定位后抽出筒体中的气体,使筒体底部着于泥面,然后通过筒顶通孔抽出筒体中的气体和水,利用真空压力和筒内外水压力差将筒体插入到土中后,封好通孔。

大港滩海油田将钢箱筒作为人工岛围埝、防波堤以及栈桥的基础结构,已经进行了多次成功的尝试,如埕海 1-1 人工岛南侧箱筒型基础围埝及应急停靠点、埕海 2-2 人工岛西南侧的箱筒型基础应急停靠点、埕海 2-2 进海路中箱筒型基础栈桥。

### 1.2 埕海 1-1 人工岛船舶应急停靠点及防波堤

埕海 1-1 人工岛船舶应急停靠点设置于人工岛南侧,共采用 8 组钢箱筒基础结构,南侧围埝长 163.5 m,船舶停靠点面层顶高程+3.5 m,顶面 18.2 m 宽的面层,前沿海底泥面高程为-2.8 m,后侧挡浪墙顶高程+6.5 m。

埕海 1-1 人工岛东侧防波堤兼作消防取水结构,长 47.4 m,上部砼大圆筒顶高程+5.6 m。防波堤结构的钢箱筒基础部分与南侧围埝结构的箱筒型基础部分相同,上部为现浇的混凝土盖板,板厚 0.5 m。防波堤结构断面如图 2 所示。

箱筒型基础结构由四个上部带顶盖板、下部开口的钢质基础圆筒体成矩形排列,通过顶板和

基础筒体间的侧板刚性连接而成。基础圆筒直径 9.0 m,高 8.5 m,上部 3m 壁厚 12 mm,下部 5.5 m 壁厚 10 mm,筒壁内外均设有竖向肋板;顶板为下侧带肋梁的平板,板厚 10 mm;相邻两个基础圆筒间的最小间距 3.0 m,通过两侧带肋梁的钢板连接。每组钢圆筒上所形成的基础结构长和宽均为 22.8 m,相邻组钢箱筒结构的安放间距为 1.5 m,在该间距内插入混凝土挡板进行连接。工程完工后如图 3 所示。

按照本文 1.1 中所述的相应规范对工程结构设计进行稳定性验算均满足设计要求。

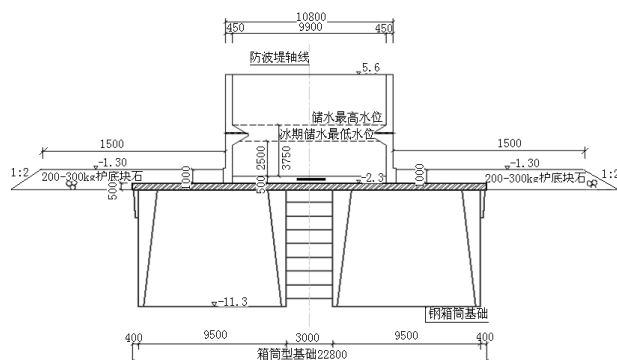


图2 埕海 1-1 人工岛防波堤结构

Fig.2 Chenghai 1-1 Artificial Island breakwater structure



图3 埕海 1-1 人工岛南侧围埝及防波堤

Fig.3 Chenghai south 1-1 artificial island reclamation dam and breakwater

### 1.3 埕海 2-2 人工岛箱筒型基础应急停靠点

埕海 2-2 人工岛的西南角位置建造一小型船舶应急停靠点,该船舶应急停靠点结构与埕海 1-1 人工岛的相同,应用箱筒型基础结构和空心方块结构建造,采用了 2 组钢箱筒基础结构。南北长 46.3 m,东西宽 22.8 m,顶面高程+3.5 m,在其西北侧墙上预埋管线上岸构件,南侧和西南侧墙供船舶停靠。工程完工后如图 4 所示。

码头稳定性计算时分为两个断面:第一分段与围埝邻接,背后有回填土要考虑主动土压力,但不考虑波浪力;第二分段突出海面,无回填土故只考虑波浪作用力。通过结构的抗滑稳定性、



图 4 埕海 2-2 人工岛船舶应急停靠点

Fig.4 Chenghai 2-2 artificial island ship emergency stop

抗倾稳定性、地基承载力验算,结果均满足设计要求.地基沉降量  $S=0.323$  m,地基整体稳定性验算满足要求.

#### 1.4 埕海 2-2 进海路箱筒型基础栈桥

埕海 2-2 进海路 3 828 m 处设置长 158 m 的箱筒型基础结构栈桥,桥面宽 7 m.共采用 8 组箱筒筒基础结构,每组箱筒型基础结构由四个直径 8.0 m,高 8.5 m,带顶板的焊接钢质圆筒呈矩形连接而成;圆筒间的横向(垂直于路轴线)连接间距为 1.0 m,纵向(平行于路轴线)连接间距为 2.0 m,每组箱筒型基础结构的平面外观尺度为 17.0 m $\times$ 18.0 m.圆筒钢顶板上部为 0.5 m 厚现浇钢筋混凝土封板,每个筒中心设钢护筒混凝土栈桥柱,横向相邻两个柱顶现浇钢筋混凝土横梁;四个钢圆筒为一组,钢圆筒之间由两道钢箱梁连接;横梁两端为钢板包裹的三角形防冰锥;路面板、管沟板和电缆沟板三种桥面梁均为预制构件.箱筒型基础栈桥结构断面如图 5 所示,完工后如图 6 所示.

按照本文 1.1 中所述的相应规范对栈桥工程结构设计进行稳定性验算.工况一设计高水位时结构验算,抗滑系数  $k_1=3.61$ ,抗倾系数  $k_2=8.56$ ,地基承载力系数  $k_3=2.09$ ;工况二冬季高水位时,流冰作用在栈桥结构横梁上结构验算,抗滑系数  $k_1=2.14$ ,抗倾系数  $k_2=4.08$ ,地基承载力系数  $k_3=1.70$ ;工况三设计低水位时结构验算,抗滑系数  $k_1=2.20$ ,抗倾系数  $k_2=5.26$ ,地基承载力系数  $k_3=1.57$ .由以上数据表明,在三种工况荷载组合下,箱筒型基础栈桥结构的抗倾、抗滑、地基承载力稳定性均得到满足.

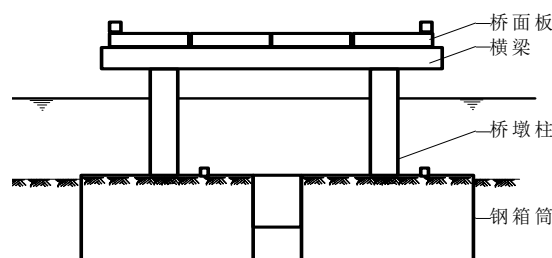


图 5 箱筒型基础栈桥结构

Fig.5 Cases of bucket foundation pier structure



图 6 箱筒型基础栈桥

Fig.3 Box type foundation of the loading bridge

在工程实施中,箱筒型基础结构陆上预制;气浮拖运时,结构中间成过水断面,并且将拖带点设在前筒上,在筒内加设传力钢缆,这样水阻力减少,拖运速度提高,结构基本上不变形;下沉时,加载与抽负压相结合最终达到设计要求.

埕海 1-1 人工岛工程于 2006 年完工,埕海 2-2 桥岛工程于 2010 年 11 月完工,工程投运以来,经历了多次风暴潮袭击,特别是 2009—2010 年冬季遭遇 30 年一遇的特大冰情,结构安全稳定,各项指标均满足规范设计要求.由此,钢箱筒基础技术在大港滩海工程建设中已经具有很好的应用效果,值得推广.

## 2 筒型基础试采平台应用可行性探讨

### 2.1 筒型基础试采平台适用性分析

采用筒型基础建造试采平台,具有以下优势:

(1) 地质适应能力:大港滩海地区表层淤泥较厚,土壤抗水平承载力较差,筒型基础更适合大港滩浅海软土工程地质条件,采用浅基础形式即可获得足够承载能力,容易下沉安装和起升移位.

(2) 安全稳定性:筒型基础结构形式对荷载及变形适应性强,可充分利用周边软土的粘聚力和摩擦阻力来保证结构的抗滑和抗倾性,利用插入埋深来提高基底的承载力和整体稳定性.结构

底部软粘土的吸附力可以降低波浪力作用下结构底部的地基应力,增强结构的稳定性。

(3) 施工技术:筒型基础试采平台可气浮拖运至试采井位,下沉、起升均采用负压自安装技术,不需要打桩设备,海上施工工作量小,整体安装调试时间短,便于实现重复移位。

(4) 功能需求:筒型基础试采平台满足短期试采要求,能够负压下沉和正压起升,节省海上施工费用,可移动重复使用,并且结构安装到位后,变形小。

(5) 建设投资:筒型基础试采平台建设投资较小,可移动重复利用,经济性上有明显优势。

## 2.2 平台下沉、起升分析

筒型基础平台负压下沉和正压起升是筒型基础平台节省海上施工费用,实现可重复使用的重要技术环节。依据筒型基础在其他工程中的施工经验,其下沉、起升方法可选择:

### (1) 下沉方法:

①水深 $\geq$ 筒高时,通过抽水实现筒型基础试采平台负压下沉;

②水深 $<$ 筒高时,先通过抽气下沉,当抽气口出水后改用抽水下沉;

③下沉负压控制范围:  $-0.02 \sim -0.04$  MPa;

④下沉速度:  $20 \sim 30$  mm/min。

### (2) 起升方法:

①水深 $\geq$ 筒高时,通过注水加压,在发生管涌前,改为注气加压,并控制好气压,减小注气量,充分利用浮力,实现平稳起升。

②水深 $<$ 筒高时,通过注水加压起升,当筒顶露出水面后,再注气加压,并控制好气压,充分利用浮力,实现完全起升。

③平台起升速度:  $50 \sim 80$  mm/min。

### (3) 平台下沉起升应注意的问题:

①拖航前由潜水员在平台就位点进行海底扫视,确定海底平坦、无障碍,确保平台下沉时无障碍。

②配备足够的备用设备,以备平台下沉、起升过程中的设备损坏。

③对试验平台下沉(起升)状态进行实时监控,监控参数包括四个筒的入泥深度、筒内水面高度、压力、甲板上的倾斜度等。平台下沉起升过程中倾角控制在 $\pm 1^\circ$ 以内,整体下沉速度  $20 \sim 30$  mm/min。

④平台出现不均匀下沉(起升)时,及时调整各筒内的压力,使平台均匀下沉。

### (4) 筒基平台实时监测及控制

通过理论计算得到,在拖航过程中应根据平台倾斜情况及拖航工况,可以对筒内气体进行调整(抽气/充气)或者施加助重对吃水高度进行调整,可以很大程度上提高平台稳性,以满足在恶劣海况下的拖航要求。除干舷高度外,在实际拖航过程中稳性还与平台的拖航速度、拖缆点的位置等因素有关。

## 2.3 平台拖航分析

筒型基础平台可以采用干拖和湿拖两种方法:

### 2.3.1 湿拖方案

筒型基础平台可实现海上湿拖,拖航时采用 1 艘主拖轮、1 艘副拖轮,在拖航过程中应根据平台倾斜情况及拖航工况,控制平台的拖航速度,及时对筒内气体进行调整(抽气/充气)或者施加助重对吃水高度进行调整,提高平台稳性,以满足在恶劣海况下的拖航要求。拖航示意如图 7 所示:

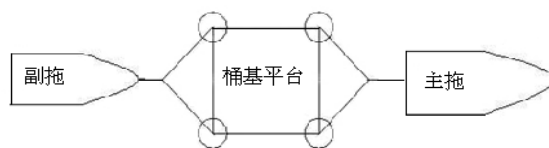


图 7 筒型基础平台拖航示意

Fig.7 The towing of bucket foundation platform

(1) 拖点位置与系缆方式:拖点的位置选在桶体顶部,系缆方式以双筒系缆后合为一根的总缆,如图 8 所示:

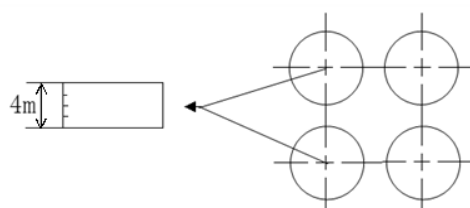


图 8 筒型基础平台拖点位置与系统方式

Fig.8 The bucket foundation platform towing point position and cable

(2) 拖航启动、停泊:为了保持平台的稳定性,平台由静止达到最后稳定拖航的加速度  $a \leq 0.08$  m/s<sup>2</sup>;平台停泊时,采用后方拖轮协助平台减速停泊。

### (3) 湿拖应注意的问题

①平台拖航时选择较好海况条件(风速 $<4$ 级,浪高 $<2$  m),保证拖航安全。

②拖航时采用1艘主拖轮、1艘付拖轮,拖航速度3~4节,可考虑增设两个傍拖,增强平台拖航稳性。

③拖航过程中实时监测筒内气压,一旦发现气压减小,及时补气。

④如遇潮位小于平台吃水深度,平台可临时负压下沉,待潮位上涨后再起升拖航到预定位置。

### 2.3.2 干拖方案

当建造场地距离试采井位较远时,筒基平台宜采用干拖方案,可在于建造场地通过浮吊将平台吊装于驳船上,干拖至试采井位,再通过浮吊将平台吊入水中,采用负压就位下沉。

## 3 结语

筒基试采平台的筒型基础结构与软土地基巧妙地结合成整体,将软土地基也纳入到结构体系中共同抵抗波浪力和维持结构的稳定性,更好地适应于软土地基,具有自浮拖航和负压下沉的特性。相对于传统的导管架平台来说,筒基试采平台具有缩减工程量、节省投资以及可重复使用等优点。在具体应用时,还需要针对工程位置处的环境条件、作业要求以及功能要求,确定平台总体结构型式、主体尺度等,依据平台总重量和荷载分布,对筒型基础结构的稳定性开展进一步论证分析。

### 参考文献 References

- [1] 李广军,李德堂.浅海移动式试采试验平台的采油工艺设计[J].中国海洋平台,1995,10(1):15-17.  
LI Gguangjun, LI Detang. Oil Extraction Process Design Mobile Trial Platform In Shallow Sea[J].China Offshore platform,1995,10(1):15-17.
- [2] 崔少春,刘丽黎.胜利开发一号试采试验平台的研究设计[J].中国海洋平台,1994,9(3):108-109.

- CUI Shaochun, LIU Lili. Research and Design of the Development of A Number of Victory Trial latform[J].China Offshore platform,1994,9(3):108-109.
- [3] 刘丽黎.浅海移动式试采试验平台采油工艺流程设计与应用[J].中国海洋平台,1995(4):148-150.  
LIU Lili.Mobile Shallow Water Trial Platform Production Process Design And Application.China Offshore Platform, 1995(4):148-150.
- [4] 武俊亮,牛文金,李琦,等.辽河海上稠油热采井口平台结构分析[J].中国造船,2005 (11) :253-260.  
WU Junxian,NIU Wenjin,LI Qi,et al. The Well head Platform Framework Analysis of Heavy Oil Themal[J]. Ship-building of China,2005(11):253-260.
- [5] 王元战,王海龙,付瑞清.沉入式大直径圆筒码头稳定性计算方法研究[J].岩土工程学报,2002,24(4):417-420.  
WANG Yuanzhan, WANGHailong, FU Ruiqing. Embedded Large-Diameter Cylinder Quay Stability Calculation Method Research[J].Chinese Journal of geotechnical engineering,2002,24(4):417-420.
- [6] 王元战,董少伟,王玉红.沉入式大圆筒结构入土深度计算方法研究[J].水利学报,2004(4):23-26.  
WANG Yuanzhan, DONG Shaowei,WANG Yuhong. Embedded large cylindrical structure depth calculation method research[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004(4):23-26.
- [7] 王元战,华蕾娜,祝振宇.软土地基条件下大型圆筒海岸结构稳定性计算方法[J].岩土力,2005,26(1):41-45.  
WANG Yuanzhan,HUA Leina,ZHU Zhen yu.Calculation method of stability of large cylinder structure in coastal soft clay foundation[J].Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(1):41-45.
- [8] 王元战,肖忠.筒型基础结构稳定性有限元分析方法[M].北京:海洋出版社,2009.  
WANG Yuanzhan,XIAO Zhong.Cylindrical foundation structure stability finite element analysis method.The fourteenth China marine (coastal) Engineering symposium [M]. Beijing: Ocean Press, 2009.

(本文编辑 沈波)